

Alicja ZIELIŃSKA

Stanisław TOMASZEWSKI

METODOLOGIA PROJEKTOWANIA KONSTRUKCJI NA PRZYKŁADZIE PLATFORMY RADARU

Streszczenie. W artykule przedstawiono pewien zakres prac niezbędnych do wykonania podczas projektowania (na etapie projektu wstępnego) na przykładzie konstrukcji platformy radaru. Proces projektowania zwykle zaczyna się od dogłębnej analizy wymagań postawionych dla projektowanej konstrukcji. W tym przypadku były to parametry osiągnięcia wysokości podnoszenia anteny, stateczności konstrukcji platformy, weryfikacja wytrzymałości oraz nacisków na osie pojazdu. Weryfikacja modelu została przeprowadzona na modelu 3D z wykorzystaniem aplikacji SolidWorks, SolidWorks Simulation oraz Motion w zakresie kinematyki oraz sprawdzenia bezkolizyjności układu.

Słowa kluczowe: projektowanie platformy radaru, podwozie Jelcza, badania wirtualne MES, wytrzymałość konstrukcji, stateczność konstrukcji, odkształcenie konstrukcji.

1. WSTĘP

Obecnie mamy szereg możliwości komputerowego wspomaganie procesu projektowania z wykorzystaniem do tego celu różnych narzędzi. W tym przypadku do zamodelowania konstrukcji oraz wyznaczenia sił w układzie zostało wykorzystane oprogramowanie Solid Works. Do analizy przyjęto różne wersje modelu i rozpatrzono je pod kątem spełnienia przyjętych wymagań. Na tym etapie należy ograniczyć się do rozważenia niewielkiej ilości różnych wersji modelu konstrukcji. W naszym przypadku pozostały dwie, różniące się położeniem na podwoziu Jelcza. Szereg istotnych analiz wykonano dla obu wariantów rozwiązań, po czym po dogłębnej analizie, ostatecznie przyjęto korzystniejsze rozwiązanie konstrukcyjne. W niniejszym artykule skoncentrowano się na przedstawieniu niektórych aspektów procesu projektowania, a mianowicie dotyczących zakresu mechaniki.

2. PODSTAWOWE DANE

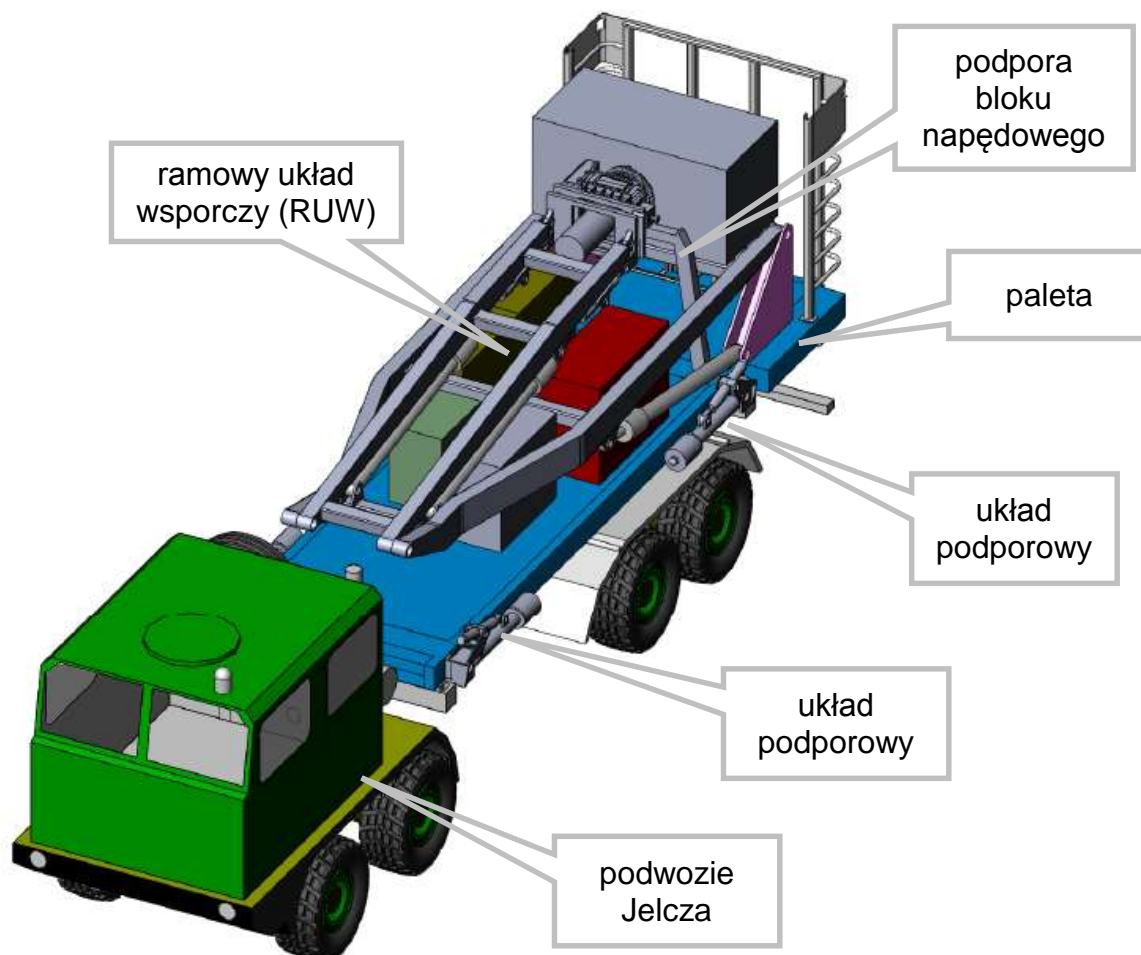
Platforma ma służyć do postawienia anteny z pozycji transportowej (Rys. 1) do pozycji pionowej (pozycja złożonego RUW-u); następnie antena jest stawiana na wysokość 15 m za pomocą ramowego układu wsporczego (RUW-u) (pozycja pracy - Rys. 2).

W skład zestawu wchodzi:

- podwozie 4-osiove Jelcz 882 D.43,
- platforma z ramowym układem wsporczym RUW,
- antena z blokiem napędowym,
- wyposażenie Bumar Elektronika S.A. (kabina zespołów elektronicznych, agregat prądowórczy, kabina zespołów zasilania, zespół chłodzenia cieczonego i okablowanie).

Kompletacja platformy obejmuje: paletę, układ wsporczy, podpory wysuwne, układ hydrauliczny platformy, wyposażenie elektryczne platformy, elektryczne sterowanie układem hydraulicznym oraz wyposażenie pomocnicze platformy.

Poniżej przedstawiono zestaw w ukompletowaniu umożliwiającym postawienie anteny na wymaganą wysokość 15 m.



Rys. 1. Widok ogólny pojazdu w położeniu transportowym

3. OPIS UKŁADU PLATFORMY

3.1. Planowane rozwiązanie konstrukcji nośnej

Przyjęto czteroosiowe podwozie Jelcza z kabiną opancerzoną. Na podwoziu (Rys. 1) montuje się paletę z układem podporowym. Paleta w czterech narożach posiada złącza kontenerowe [3], za pomocą których mocowana jest do ramy pojazdu i tym samym spełnia wymagania przepisów ruchu drogowego. Układ podporowy ma możliwość rozkładania/składania i wysuwania podpór. Zmiany długości i położenia cylindrów realizowane są na drodze hydraulicznej. Zaplanowano również rozmieszczenie na palecie wyposażenia BE S.A. oraz OBRUM. Połączenia pomiędzy zespołami zaplanowano w taki sposób, że będą wykonane przewodami poprowadzonymi po powierzchni palety oraz RUW-u.



Rys. 2. SHORAD w pozycji pracy z rozmieszczonymi zespołami radaru oraz zabudową zespołów własnych

3.2. Opis konstrukcji podpór stabilizujących

Platforma jest ustawiana (poziomowana) za pomocą 4 podpór stabilizujących.

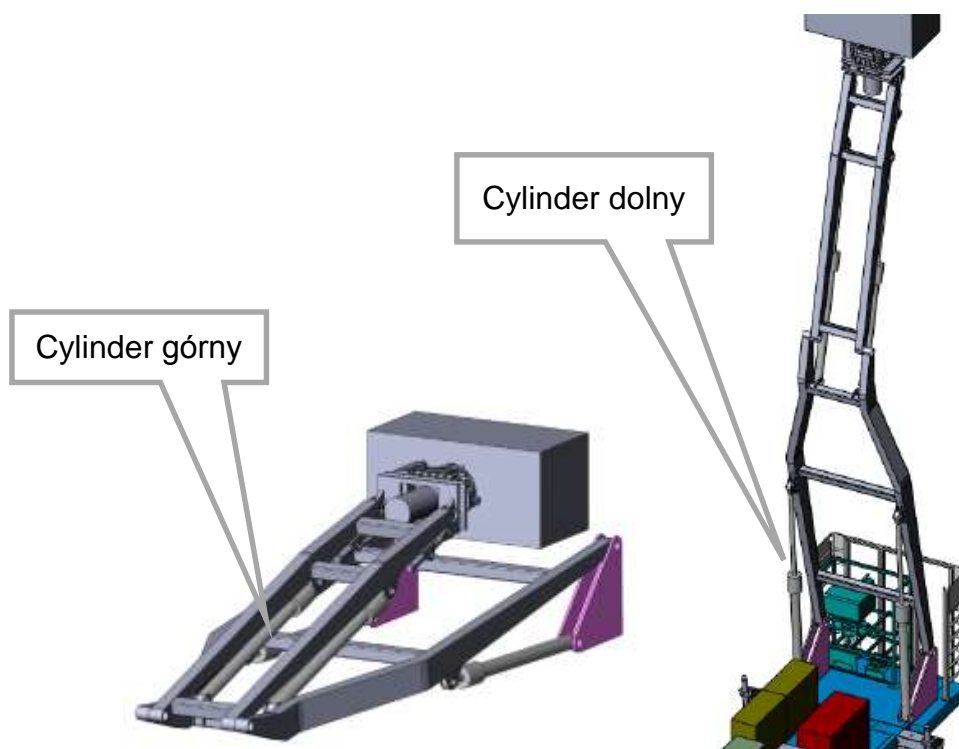
W czasie transportu są one ustawione wzdłuż powierzchni bocznej platformy/Rys. 1/.

Każda z czterech podpór wyposażona jest w cylinder wysuwu poprzecznego podpór, cylinder obrotu podpory i cylinder podporowy. Cylindry hydrauliczne wysuwu poprzecznego odpowiedzialne są za wysunięcie poprzeczne podpór. Cylindry obrotu podpór realizują obrót cylindrów podporowych do pozycji pionowej (roboczej). Ustawianie i poziomowanie platformy realizowane jest za pomocą cylindrów podporowych.

4. OPIS UKŁADU PODNOSZENIA ZESTAWU ANTENOWEGO NA WYSOKOŚĆ 15 m

Konstrukcję ramowego układu wsporczo (RUW) zaprojektowano tak [2], [3], by zapewnić złożenie i opuszczenie anteny na podwoziu. Antena po złożeniu znajduje się na końcu ramy podwozia (z tyłu pojazdu). Postawienie anteny do pozycji pracy powoduje, że oś anteny znajduje się w pobliżu tylnej podpory podwozia. RUW jest rozkładany hydraulicznie

za pomocą dwóch cylindrów dolnych oraz dwóch cylindrów górnych. Podczas rozwijania ruch obydwu par cylindrów realizowany jest jednocześnie. Dodatkowe cylindry podnoszą / obracają antenę.

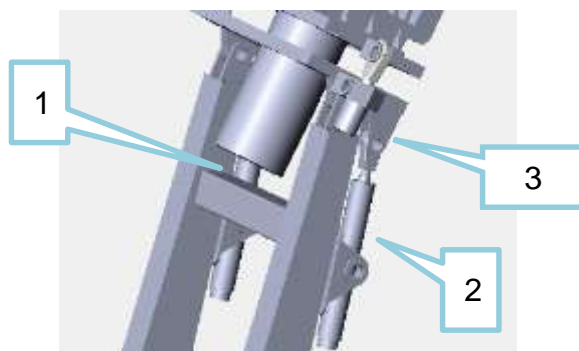


Rys. 3. Ramowy układ wsporczy w pozycji transportowej i pozycji pracy

5. OPIS UKŁADU POZIOMOWANIA PŁYTY PODANTENOWEJ

Poziomowanie podstawy anteny odbywa się wg kinematyki wału Cardana, to znaczy w dwóch płaszczyznach. Dwa cylindry hydrauliczne (1), (2) (Rys. 4) służą do obrotu anteny z pozycji poziomej do pionowej oraz do wypoziomowania podstawy anteny w tej płaszczyźnie. Do wypoziomowania podstawy anteny w drugiej płaszczyźnie służy jeden cylinder hydrauliczny (3) (Rys. 4). Po wypoziomowaniu anteny następuje zablokowanie cylindrów układu poziomującego. W przypadku rozpoziomowania anteny generowane są sygnały ostrzegawcze. Dopuszczalne odchylenie anteny od poziomu przekraczające dopuszczalną wartość $0,5^\circ$ generowane są sygnały ostrzegawcze. System wymusza na operatorze złożenie RUW-u, po czym dokonywane jest dopoziomowanie platformy przez operatora. Planowane rozwiązanie konstrukcyjne zastosowania cylindrów poziomowania przedstawia (Rys. 4).

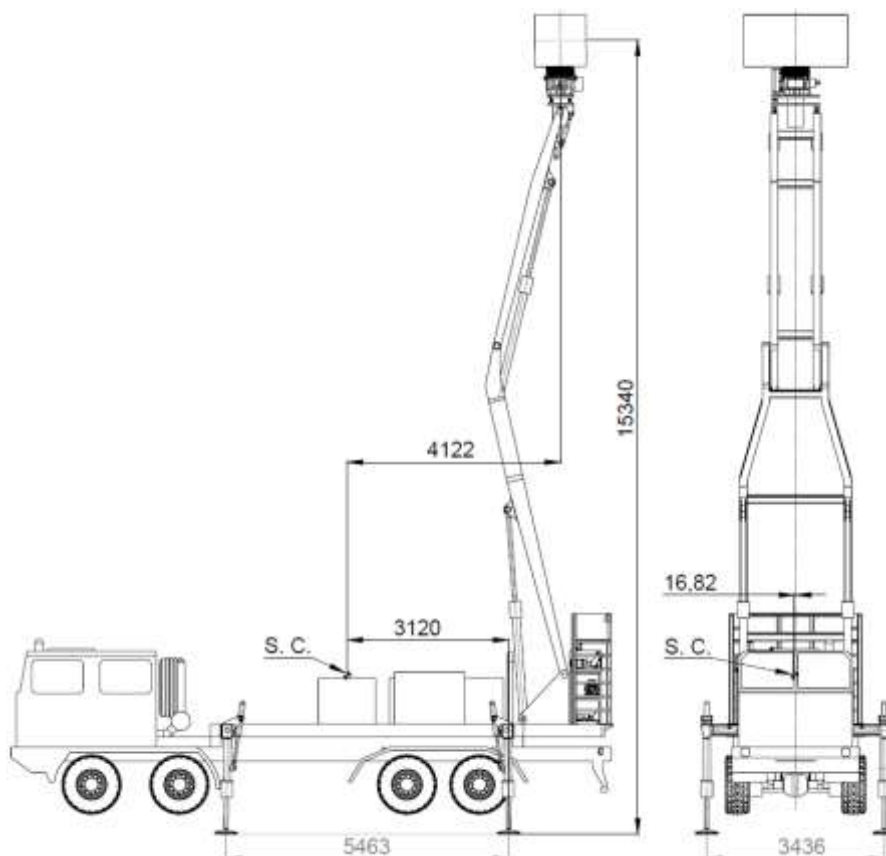
W przypadku rozpoziomowania platformy, które spowoduje odchylenie anteny od poziomu przekraczające dopuszczalną wartość $0,5^\circ$ generowane są sygnały ostrzegawcze. System wymusza na operatorze złożenie RUW-u, po czym dokonywane jest dopoziomowanie platformy przez operatora. Planowane rozwiązanie konstrukcyjne zastosowania cylindrów poziomowania przedstawia (Rys. 4).



Rys. 4. Cylindry hydrauliczne poziomowania podstawy anteny

6. OBLICZENIA STATECZNOŚCI KONSTRUKCJI I ODPORNOŚCI NA WIATR

Wstępnej analizy stateczności platformy z RUW-em na podwoziu Jelcza dokonano w oparciu o normę PN-87/M-06513, na podstawie której można dokonać kompletnej oceny wszystkich współczynników występujących w równaniach.



Rys. 5, Rysunek wyrobu w pozycji pracy

Paleta zawiera maszt - ramowy układ wsporczy (RUW) zestawu antenowego podnoszonego na wysokość 15 m z elementami mocowania wyposażenia WB. W fazie projektu wstępnego przyjęto rozwiązanie uwzględniające umieszczenie RUW-u z tyłu palety (Rys. 5) wyrobu SHORAD.

6.1. Obliczenie stateczności własnej wg PN-87/M-06513

Przyjęto, że jednostka antenowa SHORAD na podwoziu Jelcza nie jest typową dźwignią, ale jej charakter pracy odpowiada przedmiotowo zakresowi normy dźwignicowej.

W przypadku opisywanego pojazdu nie występuje stan określony jako roboczy. W naszym przypadku stan, który można uznać za roboczy - rozkładanie anteny odbywa się wewnątrz obrysu podstawy, a siły mogące powodować wywrócenie urządzenia są co najwyżej mniejsze od sił występujących w stanie rozłożonym. Dodatkowo ruch obrotowy anteny nie ma wpływu na stateczność pojazdu wobec założonego zrównoważenia masowego części obrotowej.

Zgodnie z zaleceniami normy, po dostosowaniu jej wymagań do potrzeb naszego pojazdu, uzyskujemy następujący schemat kojarzenia obciążeń:

siły ciężkości nie zmieniające położenia
 +
 siły ciężkości zmieniające położenie
 +
 obciążenie wiatrem stanu spoczynku dźwignicy
 =
 odpowiada to V warunkowi kojarzenia obciążeń wg PN-87/M-06513

6.2. Obciążenie wiatrem

Zgodnie z normą PN-86/M-06514 (pkt. 4.2.3) w stanie spoczynku wartość obciążenia wiatrem dźwignicy lub jej części wyraża się wzorem :

$$W_s = C * C_e * C_t * \beta * q * A$$

gdzie:

C - współczynnik aerodynamiczny : przyjmujemy jak dla przekrojów skrzynkowych (smukłość $\sim 5, h/a > 2$) = 1,55

C_e - współczynnik ekspozycji : (teren, wysokość $< 20m$) = 0,8

C_t - współczynnik czasu użytkowania dźwignicy: przy braku danych przyjęto = 1

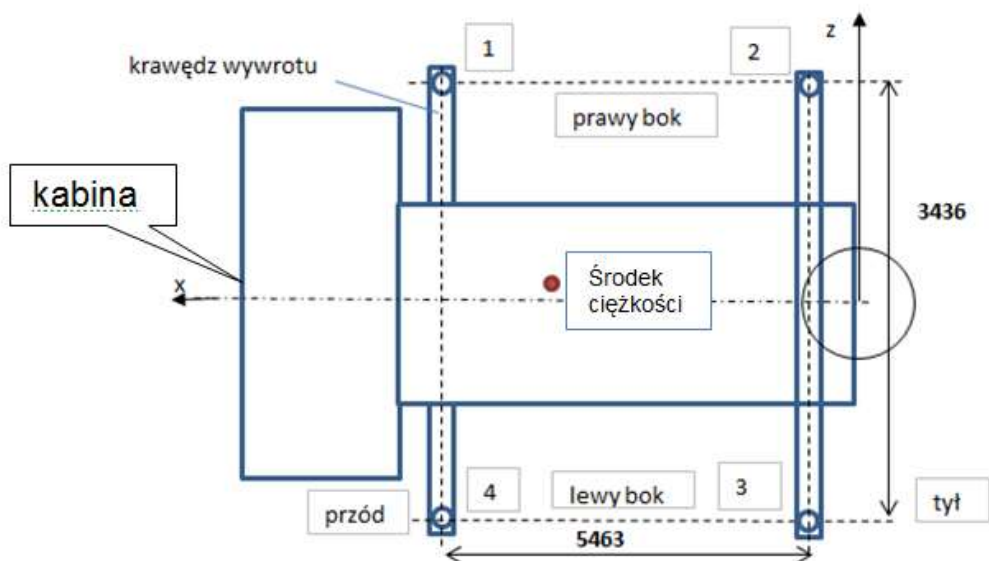
β - współczynnik działania porywów wiatru: przy ustalonej prędkości krytycznej = 2 (wsp. działania porywów wiatru)

q - wartość charakterystyczna ciśnienia prędkości wiatru zgodnie ze wzorem 21 (wg PN-86/M-06514)

$$q = v^{2/1,6}$$

Według założeń wytrzymałość platformy ma być zapewniona przy oddziaływaniu wiatru o prędkości 50 m/s. Dla tej prędkości obliczono wartość $q = 1562,5 \text{ N/m}^2$

6.3. Krawędzie wywrotu



Rys. 6. Położenie krawędzi wywrotu

Tablica 1

kierunek	współrzędne krawędzi wywrotu [m]			
	przód (1-4)	tył (2-3)	prawy bok(1-2)	lewy bok(3-4)
x1	6,465	1,002	6,465	1,002
z1	1,7180	1,7180	1,7180	-1,7180
x2	6,465	1,002	1,002	6,465
z2	-1,7180	-1,7180	1,7180	-1,7180

Odległość krawędzi wywrotu od osi obrotu anteny

Tablica 2

krawędź odniesienia	D[m]
przód	6,465
tył	1,002
prawy bok	1,7012
lewy bok	-1,7348

6.4. Moment ustalający (Mus)

Stateczność została zweryfikowana dla jednostki z podwoziem JELCZA. W obliczeniach stateczności do obliczeń momentu ustalającego, zgodnie z normą, przyjęto minimalną masę pojazdu (minimalna ilość paliwa, bez załogi).

Tablica 3

	masa [t]
RUW	4,000
nadwozie (komplet)	5,700
podwozie JELCZA	15,200
siłowniki zwodzenia	2,000
napęd i złącza	0,500
zestaw anten	0,600
masa pojazdu	28,000

Rzeczywisty środek masy całego pojazdu do obliczeń stateczności został przyjęty ostatecznie na podstawie modelu 3D. Położenie środka masy całego pojazdu w układzie współrzędnym z Rys. 6 to:

$$M = 28 \text{ t}$$

$$x = 4,122 \text{ m}$$

$$z = 0,01682 \text{ m}$$

6.5. Moment wywracający (M_{wy})

Zgodnie z normą obliczono M_{ws} - moment obciążenia wiatrem, gdzie $M_{ws} = W_s \cdot H$. W_s to obciążenie wiatrem dźwignicy /pkt.6.2/, zaś H to ramię działania wiatru. Parcie wiatru wynosi $1562,5 \text{ N/m}^2$.

$$M_{wy} = 1,1 \cdot M_{ws}$$

Odpowiednie wartości momentu wywracającego zawiera Tablica 4:

Tablica 4

	$M_{ws}[\text{kNm}]$	$M_{wy}[\text{kNm}]$
przód=	329,823	362,805
tył=	329,823	362,805
bok prawy=	383,858	422,243
bok lewy=	383,858	422,243

Tablica 5 zawiera zestawienie wartości momentu wywracającego i ustalającego.

Tablica 5

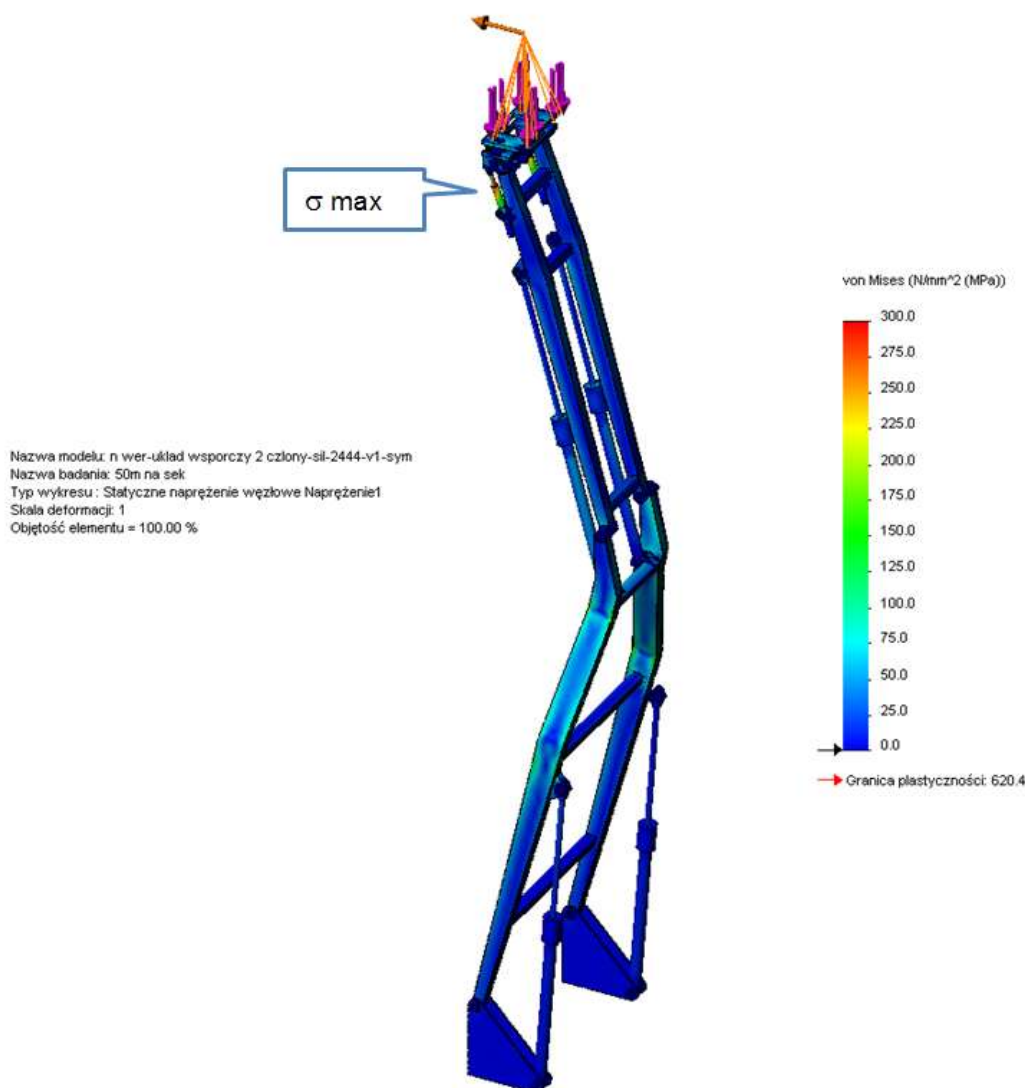
	moment ustalający [kNm]	moment wywracający [kNm]
przód=	518,4	362,8
tył=	986,5	362,8
bok prawy=	491,6	422,2
bok lewy=	491,6	422,2

Porównanie momentu wywracającego i ustalającego (patrz tabela 8) doprowadziło do wniosku, że w każdej pozycji i dla każdej krawędzi wywrotu pojazd zachowuje stateczność, gdyż moment ustalający jest większy od odpowiedniego momentu wywracającego.

6.6. Wytrzymałość na wiatr ($v=50\text{m/s}$)

Analogicznie wykonano obliczenia wytrzymałości konstrukcji [1], [2] dla naporu wiatru o prędkości 50 m/s, gdyż w założeniach pojazd miał być stabilny przy prędkości wiatru 180 [km/h]. Dla tej prędkości wartość q wynosi 1562,5 N/m².

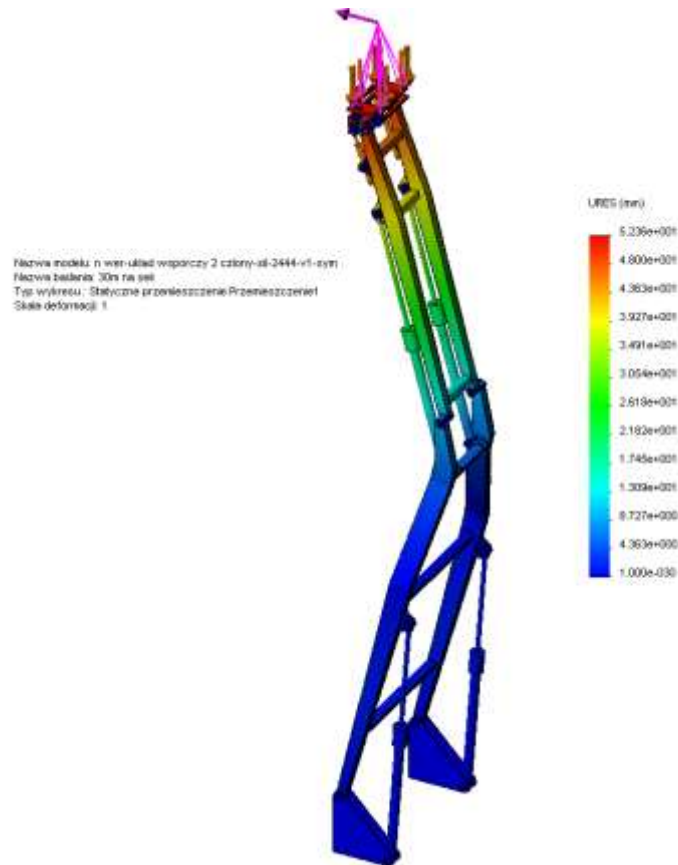
Poniżej przedstawiono wyniki pola naprężeń dla całego RUW-u pod wpływem obciążenia masowego i naporu wiatru. Poziom naprężeń w całej konstrukcji dla naporu wiatru o prędkości 50m/s był na poziomie do 300 MPa. Poniżej zilustrowano rozkład naprężeń dla jednego kierunku naporu wiatru. Podobnie wykonano obliczenia wytrzymałości konstrukcji dla naporu wiatru w kierunku poprzecznym pojazdu. Generalnie poziom naprężeń w całej konstrukcji RUW-u pozostał na poziomie poniżej wartości dopuszczalnych dla obu kierunków naporu wiatru o prędkości 50m/s. Wytrzymałość konstrukcji została zweryfikowana pozytywnie.



Rys. 7. Rozkład naprężeń w układzie RUW dla kierunku wiatru wzdłuż pojazdu

6.7. Odporność na wiatr ($v=30\text{m/s}$)

Kolejny rysunek przedstawia rozkład pola przemieszczeń, na podstawie którego dokonano weryfikacji odkształcenia konstrukcji [1], co ma znaczący wpływ na dokładność pozycjonowania płyty podantenowej.



Rys. 8. Rozkład przemieszczeń w układzie RUW

Wstępna analiza kąta odchylenia, wynikającego z odkształcenia konstrukcji podstawy anteny podczas pracy oraz odchyłek wynikających z analizy luzów w konstrukcji, pozwoliła uzyskać wyniki poniżej 0,5 deg, spełniając tym kolejne kryterium wymagań.

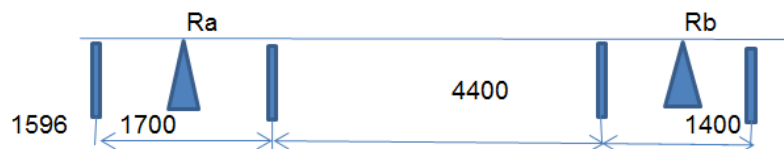
6.8. Naciski na osie

W celu wyznaczenia nacisków na osie ustalono maksymalne wartości mas i ich rozkład na pojeździe w pozycji transportowej. Położenie środka masy zaznaczono na Rys. 9.



Rys. 9. SHORAD w pozycji transportowej

Dokonany rozkład nacisków na osie, zgodnie ze schematem (Rys. 10), pozwolił ocenić ich wartość. Naciski na przednie osie wyniosły 116 kN, a na tylne 176 kN.



Rys. 10. Schemat nacisków

Naciski na osie są poniżej wartości dopuszczalnych, gdyż dopuszczalne naciski na przednie osie 1. i 2. są po 80 kN, a na tylne – 3. i 4. po 90 kN.

7. WNIOSKI

W wyniku wstępnych analiz uzyskano potwierdzenie spełnienia wszystkich przyjętych wymagań konstrukcji :

- maksymalne naprężenia są poniżej wartości dopuszczalnych
- stateczność własna konstrukcji jest zachowana
- odkształcenie kątowe konstrukcji jest w granicach błędu
- maksymalne naciski na osie są w granicach dopuszczalnych.

8. LITERATURA

- [1] Zienkiewicz O. C.: Metoda elementów skończonych, Arkady, Warszawa 1972.
- [2] Wolny S., Siemieniec A.: Wytrzymałość materiałów, wydawnictwo AGH, Kraków 2004.
- [3] Ferenc K., Ferenc J.: Konstrukcje spawane, WN-T, Warszawa 2009.
- [4] Normy : PN-86/M-06514 , PN-87/M-06513