

Rafał GOSZYC<sup>1</sup>, Bogdan POSIADAŁA<sup>2</sup>, Paweł WARYŚ<sup>3</sup>

## MODELOWANIE I ANALIZA PODESTU RUCHOMEGO W WARUNKACH JEGO PRACY

**Streszczenie.** Praca dotyczy opracowania modelu obliczeniowego podestu ruchomego firmy HAULOTTE, typu H1150E. Model został opracowany z wykorzystaniem metody elementów skończonych MES, za pomocą programu SolidWorks. Stworzony model umożliwi zarówno analizę statyczną, jak i drgań swobodnych oraz stateczności obiektu dla dowolnie wybranych konfiguracji pracy i obciążenia obiektu. W pracy zamieszczono przykładowe wyniki przeprowadzonych obliczeń wytrzymałościowych oraz częstości i postaci drgań swobodnych dla kilku wybranych konfiguracji pracy oraz obciążenia obiektu. Artykuł zakończono wnioskami wynikającymi z przeprowadzonej analizy.

**Słowa kluczowe:** podest ruchomy, analiza wytrzymałościowa, drgania

## MODELLING AND ANALYSIS OF THE MOBILE PLATFORM UNDER ITS WORK CONDITIONS

**Summary.** In this work the calculation model of mobile platform, type HAULOTTE - H1150E, and its strength analysis under work conditions have been completed. The model has been obtained by using finite element method with application of the SolidWorks package. The model can be useful as well in static, free vibration and stability analyses for any arbitrary chosen work configuration and load of the object. In the work the sample numerical results concerning the strength and free vibration analysis for the chosen platform work configuration have been presented. The conclusion concerning the analysis results have been added.

**Keywords:** mobile platform, strength analysis, vibration

### 1. WPROWADZENIE

Podest ruchomy (rys. 1) jest urządzeniem używanym w odlewniach żeliwa i przeznaczonym do pobierania oraz odkładania płyt modelowych z regałów zamieszczonych na całej długości oraz wysokości hali produkcyjnej. Podest charakteryzuje się dużą wysokością pracy, nawet do 9,5 m od podłoża. Przy takiej wysokości punkty podparcia, jakimi są gumowe koła,

---

<sup>1</sup> Faculty of Mechanical Engineering, Częstochowa University of Technology, Częstochowa, Poland, e-mail: rafal862@o2.pl.

<sup>2</sup> Faculty of Mechanical Engineering, Częstochowa University of Technology, Częstochowa, Poland, e-mail: bogdan.p@imipkm.pcz.czyst.pl.

<sup>3</sup> Faculty of Mechanical Engineering, Częstochowa University of Technology, Częstochowa, Poland, e-mail: warys@imipkm.pcz.czyst.pl.

mają dość niewielki rozstaw 1,3 m, a odległość pomiędzy osiami przednią a tylną to zaledwie 1,85 m. Dodatkowo górny kosz, w którym pracuje operator, ma wysuwaną część, która zwiększa długość podestu o 1,2 m.



Rys. 1. Widok podestu ruchomego typu: HAULOTTE - H1150E  
Fig. 1. The picture of the mobile platform type: HAULOTTE - H1150E

## 2. MODEL OBLICZENIOWY

Model obliczeniowy podestu ruchomego został opracowany za pomocą metody elementów skończonych, przy użyciu programu SolidWorks [3, 4, 7-9], z zachowaniem wymiarów i cech konstrukcyjnych obiektu rzeczywistego. Modelowaniem maszyn zajmowało się wielu autorów, a szeroki przegląd modeli można znaleźć np. w pracach [1, 2, 5].

Elementem wymuszającym wysokość platformy oraz utrzymującym urządzenie w pozycji pracy jest siłownik hydrauliczny. W modelu obliczeniowym oddziaływanie siłownika hydraulicznego zastąpiono elementem sprężystym, którego sztywność wyznaczono na podstawie wzoru [6]:

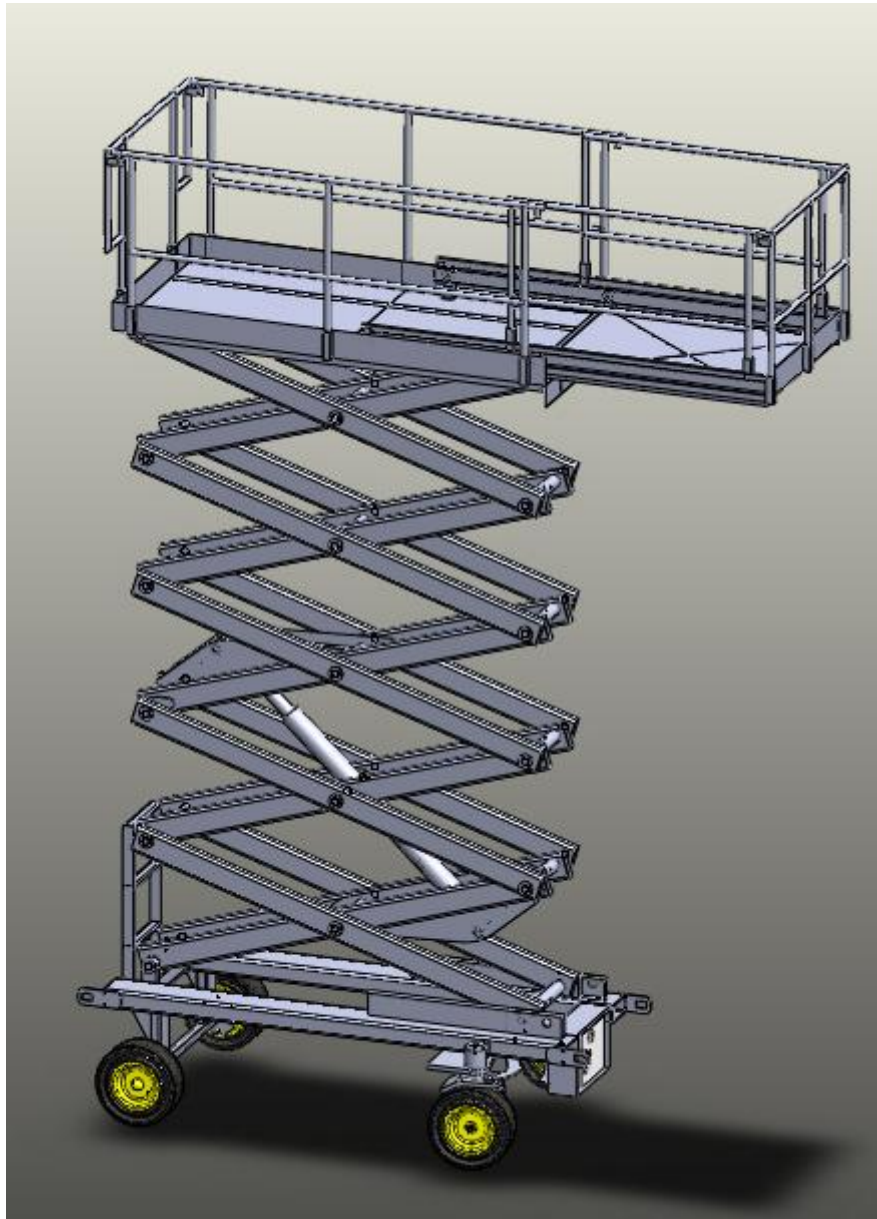
$$K = \frac{\pi \left(\frac{d_c}{2}\right)^2}{h \left(\frac{1}{k} + \frac{2d_c}{E(D_c - d_c)}\right)}, \quad (1)$$

gdzie:

$d_c$  – średnica wewnętrzna cylindra siłownika [m],

$D_c$  – średnica zewnętrzna cylindra siłownika [m],

$h$  – wysokość słupa cieczy wypełniającego siłownik [m],  
 $k$  – moduł sprężystości objętościowej oleju [ $N/m^2$ ],  
 $E$  – moduł sprężystości podłużnej materiału, z którego jest wykonany siłownik [ $N/m^2$ ].



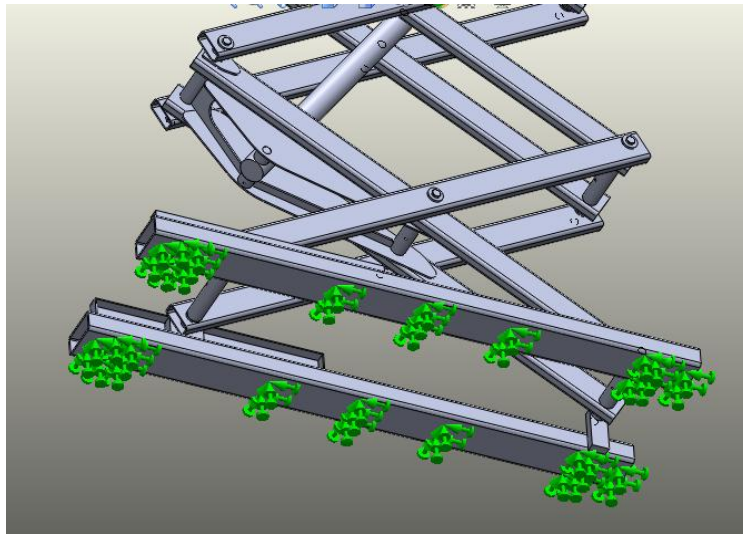
Rys. 2. Model obliczeniowy podestu ruchomego  
Fig. 2. The calculation model of the mobile platform

Model obliczeniowy został uproszczony do najbardziej niestabilnej części podestu, jaką jest układ roboczy podnoszenia i opuszczania konstrukcji – *nożyce*. Podwozie zostało uproszczone do obszaru istotnego do analizy, a reszta komponentów została pominięta. Zakończenie konstrukcji od dołu zostało sprowadzone do warunków brzegowych pokazanych na rys. 3, co jest równoznaczne z odebraniem stopni swobody uniemożliwiających ruch wzdłuż osi X, Y, Z oraz rotację płaszczyzny zamocowania.

Obliczenia symulacyjne w zakresie analizy statycznej zostały przeprowadzone dla obciążenia równoważnego obciążeniu dwóch ludzi – 1500 N – w najbardziej niekorzystnym miejscu podestu, co pokazano na rys. 4. Jest ono ulokowane na podeście wysuwanym, w odległości 0,3 m od dwóch prostopadłych do siebie krawędzi bocznych.

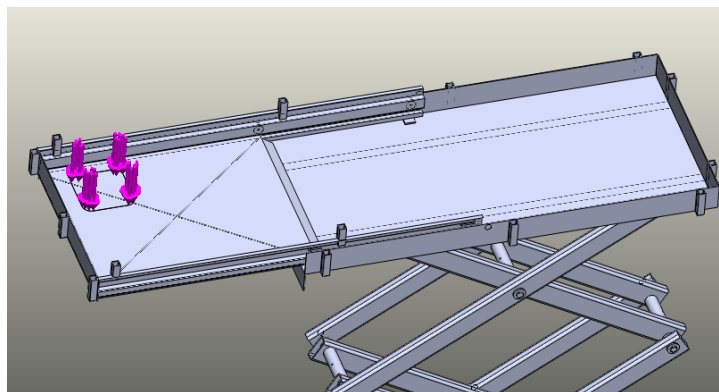
Analiza częstości własnych została przeprowadzona dla dwóch przypadków:

- bez obciążenia,
- z obciążeniem 150 [kg].



Rys. 3. Model obliczeniowy – warunki podparcia platformy

Fig. 3. The calculation model – boundary condition of the mobile platform



Rys. 4. Model obliczeniowy – warunki obciążenia platformy

Fig. 4. The calculation model – load condition of the mobile platform

### 3. PRZYKŁADOWE WYNIKI BADAŃ

Rozważany podest ruchomy jest wykonany ze stali stopowej, której właściwości zostały zaimportowane z programu SolidWorks i zestawione w tabeli 1. Metodyka badań została dostosowana do rozważanych konfiguracji pracy podestu oraz warunków jego obciążenia. Badania symulacyjne wykonano dla konfiguracji układu przy zakresach wysokości pracy podestu:

- rozpiętość 40% zasięgu – wysokość pracy na poziomie 3,5 m,
- rozpiętość 70% zasięgu – wysokość pracy na poziomie 6,65 m,
- najwyższy pułap pracy – 9,5 m,

Tabela 1

## Właściwości materiału konstrukcyjnego

<b>STAL STOPOWA</b>		
<b>Właściwość</b>	<b>Wartość</b>	<b>Jednostka</b>
Współczynnik sprężystości wzdłużnej – Moduł Younga	210	GPa
Współczynnik Poissona	0,28	---
Współczynnik sprężystości poprzecznej – Moduł Kirchoffa	79	GPa
Gęstość	7700	kg/m <sup>3</sup>
Wytrzymałość na rozciąganie	723,83	MPa
Granica plastyczności	620,42	MPa

Ze względu na zmienność parametru  $h$  (wysokości słupa cieczy hydraulicznej w siłowniku), sztywność zastępcza sprężyny  $K$  jest zmienna w zależności od wysokości pracy. Z uwagi na badania w trzech zakresach wysokości, policzono trzy sztywności, które kolejno zmieniono w następnych symulacjach. Wyniki sztywności zastępczej dla poszczególnych wysokości przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

## Wyniki obliczeń sztywności sprężyny

<b>Wysokość pracy [m]</b>	<b>Parametr – <math>h</math> [m]</b>	<b>Sztywność zastępcza sprężyny – <math>K</math> [N/m]</b>
3,5 [m] – 40%	0,265	49 210 000
6,65 [m] – 60%	0,835	15 620 000
9,5 [m] – 100%	1,320	9 880 000

Zrealizowane obliczenia numeryczne pozwalają na pełną analizę rozkładów przemieszczeń, naprężeń oraz odkształceń w dowolnych obszarach rozważanego podestu ruchomego, w tym wartości maksymalnych oraz lokalizacji obszarów, gdzie one występują. Jako przykładowe w tabeli 3 zestawiono maksymalne wartości zredukowane naprężeń wg hipotezy Hubera-Misesa oraz wypadkowe wartości przemieszczeń i odkształceń.

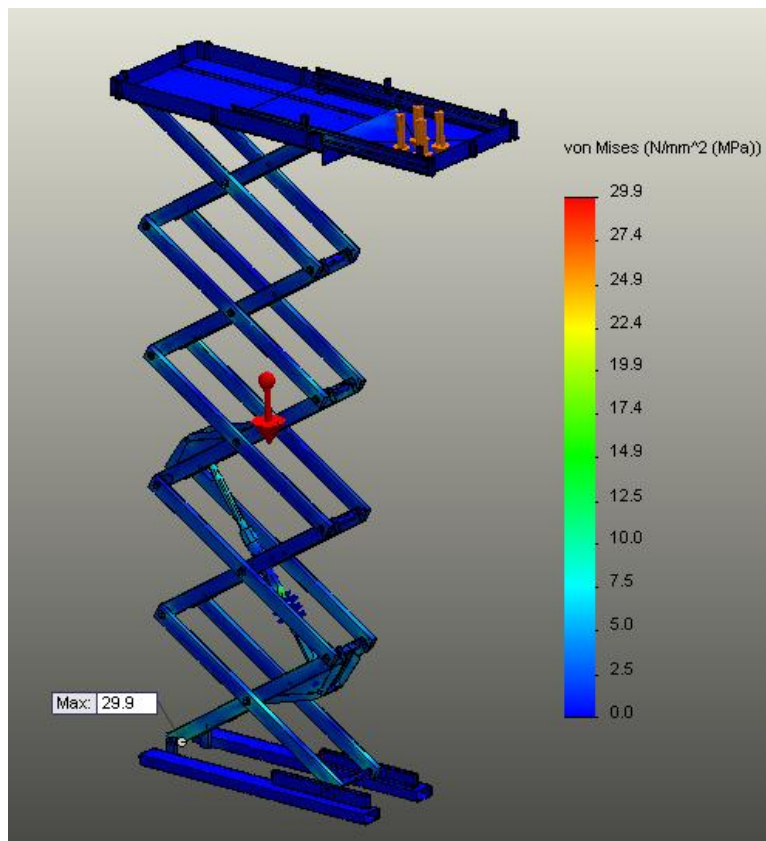
Tabela 3

## Zestawienie wyników analizy statycznej

<b>ANALIZA STATYCZNA</b>			
	<b>Wysokość pracy 3,5 m</b>	<b>Wysokość pracy 6,65 m</b>	<b>Wysokość pracy 9,5 m</b>
<b>Naprężenia [MPa]</b>	38,7	29,9	33,7
<b>Przemieszczenia [mm]</b>	4,69	2,46	2,21
<b>Odkształcenia</b>	0,000553	0,000411	0,00033



Ponadto, na rys. 5 zilustrowano rozkłady naprężeń zredukowanych dla jednego z rozważanych konfiguracji pracy obiektu, tj. dla poziomu pracy 6,65 m.



Rys. 5. Rozkład naprężeń zredukowanych – poziom pracy: 6,65 m  
Fig. 5. The reduced stresses – the work level: 6,65 m

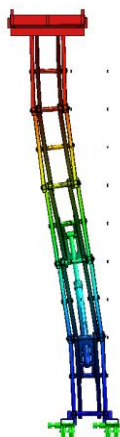
Kolejne zrealizowane badania symulacyjne dotyczyły wyznaczenia częstości drgań własnych dla wybranych konfiguracji pracy obiektu i jego obciążenia. Przykładowe wartości wyznaczonych częstości zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4

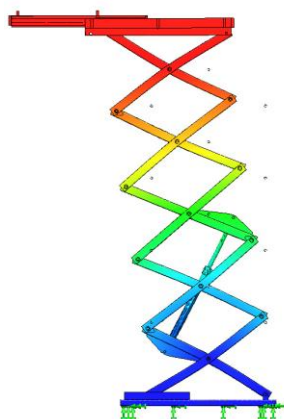
Zestawienie wartości częstości drgań własnych

Częstości drgań własnych – [Hz]						
Postacie drgań	Wysokość pracy 3,5 m		Wysokość pracy 6,65 m		Wysokość pracy 9,5 m	
	bez obciążenia	z obciążeniem 150 kg	bez obciążenia	z obciążeniem 150 kg	bez obciążenia	z obciążeniem 150 kg
<b>1</b>	4,57	3,57	3,05	1,92	2,23	2,25
<b>2</b>	10,04	6,16	4,98	3,16	3,09	2,74
<b>3</b>	14,74	12,35	13,93	9,11	8,68	8,14

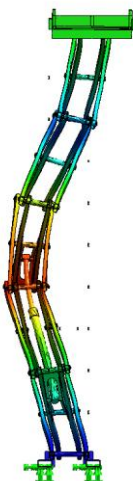
Przykładowe postaci drgań, które reprezentują odkształcenia obiektu bez obciążenia odpowiednio do zestawionych w tabeli 4 częstości drgań, pokazano na rys. 6 – 8.



Rys. 6. Pierwsza postać drgań własnych – bez obciążenia  
Fig. 6. The first vibration mode – the unload platform



Rys. 7. Druga postać drgań własnych – bez obciążenia  
Fig. 7. The second vibration mode – the unload platform



Rys. 8. Trzecia postać drgań własnych – bez obciążenia  
Fig. 8. The third vibration mode – the unload platform

#### 4. PODSUMOWANIE

W pracy opisano opracowany model obliczeniowy podestu ruchomego, wykorzystując metodę elementów skończonych oraz możliwości pakietu SolidWorks. Opracowany model umożliwia analizę zarówno statyczną, jak i drgań swobodnych oraz stateczności obiektu dla dowolnie wybranych konfiguracji pracy i obciążenia obiektu. W pracy zamieszczono przykładowe wyniki możliwych badań symulacyjnych.

Analizując wyniki analizy statycznej, można zlokalizować wartości naprężeń, odkształceń i przemieszczeń dla każdego obszaru obiektu i stwierdzić na przykład, że największe naprężenia, jakie występują przy obciążeniu podestu siłą symulującą pracę dwóch ludzi, wynoszą 38,7 MPa. Wartość ta występuje przy najniższym badanym poziomie pracy podestu, czyli 3,5 m nad podłożem. Naprężenie to jest jednak kilkakrotnie mniejsze od wartości naprężenia dopuszczalnego materiału, z którego została wykonana konstrukcja.

Przy niższych wartościach pracy podestu można zauważyć, że największe naprężenia występują w mocowaniu układu belek (nożyc) do podwozia, jednak przy wzroście wysokości naprężenia w tym miejscu maleją, a główne naprężenia przechwytyje siłownik, który staje się głównym filarem podtrzymującym podest na danej wysokości.

Wyniki analizy drgań własnych układu, a dokładnie trzech pierwszych postaci drgań (przedstawione w tabeli 4), prowadzą do wniosku, że wraz ze wzrostem wysokości pracy podestu częstość drgań znacząco maleje. Dotyczy to zarówno układu swobodnego, jak i układu z dodatkowym obciążeniem 150 kg.

#### Bibliografia

1. Cekus D., Posiadała B. (red.), Geisler B., Kukła S., Przybylski J., Sochacki W., Wilczak R.: Modelowanie, identyfikacja modeli i badania dynamiki żurawi samojezdnych. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Funkcja Książki Naukowo-Techniczna, Warszawa 2005.
2. Konopka S., Łopatka M.: Podstawy konstrukcji maszyn z CAD. Modelowanie ruchu maszyn. Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2005.
3. Lombard M.: SolidWorks Bible. John Wiley & Sons, 2010.
4. Mings J., Ruiz A., Jack G.: SolidWorks: No Experience Required. John Wiley & Sons, 2010.
5. Rusiński E.: Metoda elementów skończonych. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1994.
6. Tomski L., Kukła S., Posiadała B.: Dynamika układu siłownik hydrauliczny-zawór bezpieczeństwa, model dyskretny. Materiały XII Sympozjonu Podstaw Konstrukcji Maszyn, Lublin-Kazimierz Dolny, 9-12.10.1985, s. 393-394.
7. <http://www.haulotte.pl>
8. <http://help.solidworks.com>
9. <http://www.ikb.poznan.pl/wojciech.sumelka/sylwetka/edukacja/index.pdf>