

Marcin ANIOŁA¹

Opiekun naukowy: Arkadiusz TRĄBKA²

NUMERYCZNA ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCIOWA MOBILNEGO ŻURAWIA WARSZTATOWEGO

Streszczenie: Przedstawiono modele geometryczny i obliczeniowy projektowanego mobilnego żurawia warsztatowego. Analizy numeryczne przeprowadzono w programie Siemens NX NASTRAN dla dwóch wariantów modelu obliczeniowego zróżnicowanych strukturalnie z uwagi na rodzaj wykonywanych ruchów roboczych i przekazywane na strukturę żurawia obciążenia. Analizy przeprowadzono w celu sprawdzenia wytrzymałości oraz sztywności projektowanej konstrukcji.

Słowa kluczowe: analiza wytrzymałościowa, metoda elementów skończonych, mobilny żuraw warsztatowy

NUMERICAL STRENGTH ANALYSIS OF A MOBILE WORKSHOP CRANE

Summary: The geometrical and computational models of a designed mobile workshop crane are presented. Numerical analyses were performed using the Siemens NX NASTRAN software. Two variants of the computational model structurally diversified due to the type of working movements performed and loads transferred to the structure of the crane were considered. The analyses were carried out to verify the strength and stiffness of the designed structure.

Keywords: strength analysis, finite element method, mobile workshop crane

1. Wprowadzenie

Żurawie to dźwignice wspornikowe, które służą do podnoszenia i przemieszczania ciężarów na ograniczonej przestrzeni. Wśród różnego typu żurawi ważną grupę urządzeń stanowią tzw. żurawie warsztatowe. Żurawie warsztatowe używane są do przemieszczania ładunków o dużych gabarytach oraz znacznej masie, najczęściej w warsztatach samochodowych, ale także w różnego typu zakładach produkcyjnych.

¹ Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, specjalność: Komputerowe Wspomaganie Konstruowania i Wytwarzania, marcani1@wp.pl

² dr. inż., Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, atrabka@ath.bielsko.pl

Używa się ich wszędzie tam, gdzie ze względu na ograniczoną przestrzeń nie ma możliwości użycia żurawi innego typu.

Żurawie warsztatowe, tak jak ich więksi „bracia”, muszą stanowić solidne konstrukcje zapewniające bezpieczeństwo przede wszystkim pracownikom, ale również ładunkom. Z tego względu każda nowo projektowana konstrukcja musi spełniać rygorystyczne wymagania w tym zakresie. Oznacza to konieczność stosowania wysokiej jakości wytrzymałych materiałów oraz posiadających certyfikaty bezpieczeństwa podzespołów, takich jak np. siłowniki hydrauliczne, koła jezdne, haki itp. Cała konstrukcja musi charakteryzować się wysoką wytrzymałością oraz odpowiednią sztywnością. Te cechy konstrukcji sprawdza się na drodze analiz numerycznych, a ostatecznie poddaje badaniom doświadczalnym, po wykonaniu prototypu.

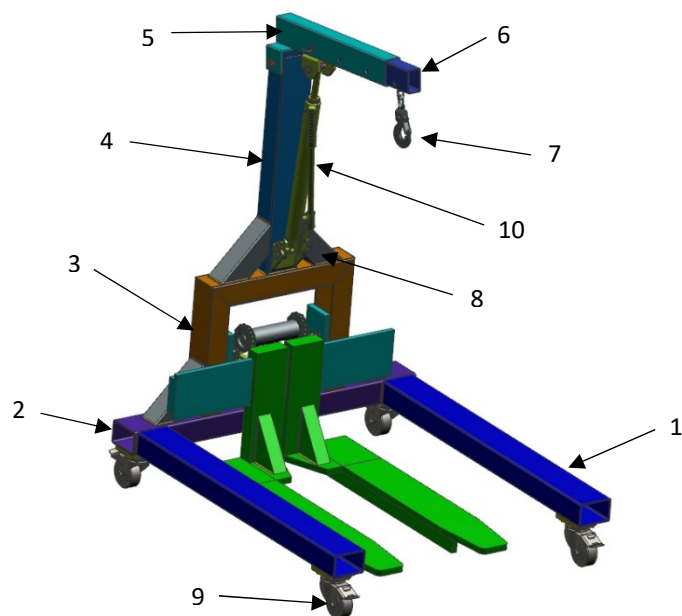
W niniejszej pracy przedstawiono modele geometryczny i obliczeniowy projektowanego mobilnego żurawia warsztatowego, a następnie sprawdzono, czy pod względem wytrzymałościowym konstrukcję można uznać za prawidłowo zaprojektowaną.

2. Model geometryczny mobilnego żurawia warsztatowego

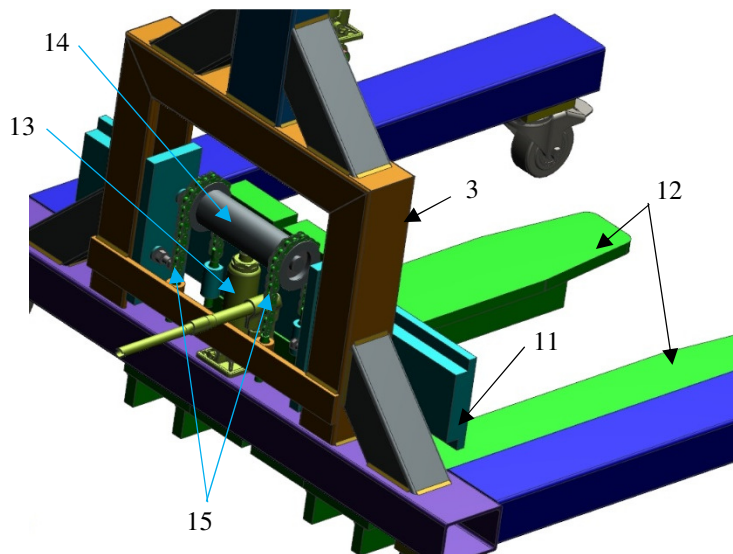
Model geometryczny projektowanego żurawia warsztatowego opracowano w programie Siemens NX Nastran [1, 2] zgodnie z koncepcją konstrukcyjną wybraną na podstawie przeglądu istniejących żurawi tego typu [3-6]. Aby uzyskać możliwie uniwersalną konstrukcję, zdecydowano się na połączenie klasycznej struktury mobilnego żurawia warsztatowego z dodatkowymi funkcjonalnościami, takimi jak możliwość załadunku i rozładunku europalet oraz możliwość podnoszenia europalet wraz z ładunkiem. Biorąc powyższe założenia projektowe pod uwagę opracowano konstrukcję, której model geometryczny przedstawiono na rysunkach 1-3.

W modelu (rys. 1) można wyodrębnić podstawę, którą tworzą dwa równoległe profile wzdłużne (1) zespawane z profilem poprzecznym (2). Do podstawy przyspawana jest rama (3). Z kolei z ramą (3) zespawany jest profil (4), który stanowi podparcie dla przegubowo połączonego z nim członu podstawowego wysięgnika (5). W członie podstawowym mocowany jest człon wysuwny (6) z hakiem (7). Dodatkowo w celu usztywnienia konstrukcja żurawia wzmocniona jest czterema profilami (8). Całość spoczywa na kółkach jezdnych (9) [7]. Do zmiany położenia członu podstawowego, a zarazem podnoszenia ciężarów na haku służy siłownik hydrauliczny (10) [8].

Dolna część konstrukcji (rys. 2) zawiera umieszczony na ramie (3) stelaż (11). Na stelażu zawieszono są widły (12), które można rozsuwać bądź zsuwać. Do podnoszenia stelaża wraz z widłami służy siłownik (13) [8] przykręcony do podstawy. Na siłowniku zamocowano tuleję z kołami łańcuchowymi (14), przez które przewijają się łańcuchy (15) [9] połączone jedną stroną ze stelażem (11), a drugą stroną z ramą (3).

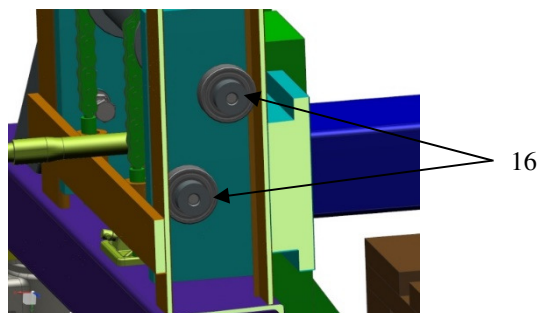


Rysunek 1. Model geometryczny mobilnego żurawia warsztatowego – widok ogólny



Rysunek 2. Model geometryczny mobilnego żurawia warsztatowego – widok mechanizmu podnoszenia zespołu widel

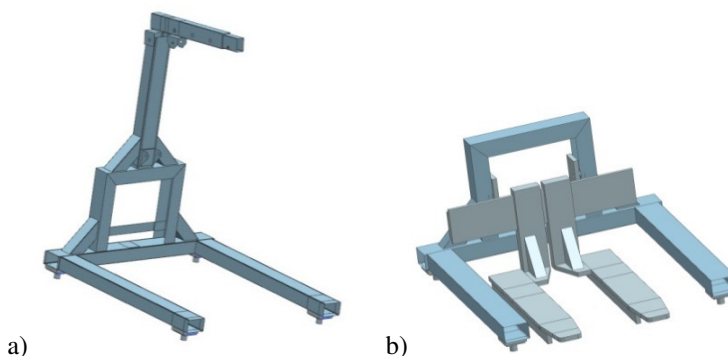
Na rys. 3 pokazano sposób prowadzenia zespołu widel w ramie. Łożyska (16) [10] podczas podnoszenia lub opuszczania zespołu widel opierają się o ramę umożliwiając jego przemieszczanie się.



Rysunek 3. Model geometryczny – widok prowadzenia zespołu wideł

3. Opracowanie modelu obliczeniowego

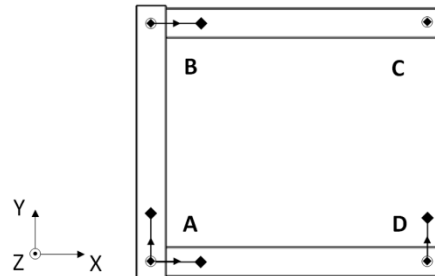
Model obliczeniowy opracowano w dwóch wariantach. W wariantcie pierwszym uwzględniono te elementy struktury żurawia, które przenoszą obciążenia przy podnoszeniu ładunków z użyciem haka (rys. 4a). W wariantcie drugim uwzględniono natomiast te elementy, które przenoszą obciążenia przy podnoszeniu ładunków z użyciem wideł (rys. 4b).



Rysunek 4. Warianty modelu obliczeniowego: a) wariant pierwszy, b) wariant drugi

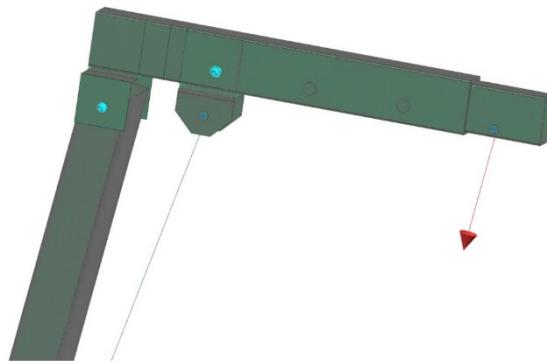
W wariantcie pierwszym dyskretyzacji całości struktury dokonano przy użyciu elementów skończonych typu powłokowego. Z kolei w wariantcie drugim oprócz elementów powłokowych, użytych do opisu profili podstawy oraz ramy, zastosowano także elementy bryłowe, którymi zamodelowano wszystkie elementy składowe tzw. zespołu wideł [11]. W obu wariantach modelu obliczeniowego przyjęto uproszczenia w postaci sklejenia elementów w miejscach występowania spoin, zastąpienia kół jezdnych odpowiednio dobranymi wiązaniami, zastąpienia siłowników hydraulicznych elementami idealnie sztywnymi [12].

Podparcie modelu obliczeniowego zrealizowano wprowadzając więzy w miejsce usuniętych kół jezdnych (rys. 5). Odebrano możliwość przemieszczeń w kierunkach osi X, Y, Z w punkcie A, w kierunkach X, Z w punkcie B, w kierunku Z w punkcie C oraz w kierunkach Y, Z w punkcie D. Pozostawiono natomiast pełną swobodę obrotu we wszystkich punktach podparcia.



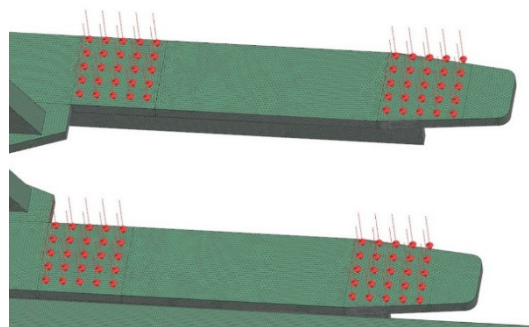
Rysunek 5. Zastąpienie kół jezdnych więzami

Obciążenia konstrukcji dostosowano do wariantów modelu obliczeniowego. W przypadku wariantu pierwszego zastosowano obciążenie siłą pionową 29430 N, którą przyłożono w miejscu mocowania haka do belki wysuwnej wysięgnika (rys. 6). Przyjęto obciążenie próbne odpowiadające dwukrotnej wartości założonego udźwigu żurawia.



Rysunek 6. Obciążenie konstrukcji dla wariantu pierwszego modelu obliczeniowego

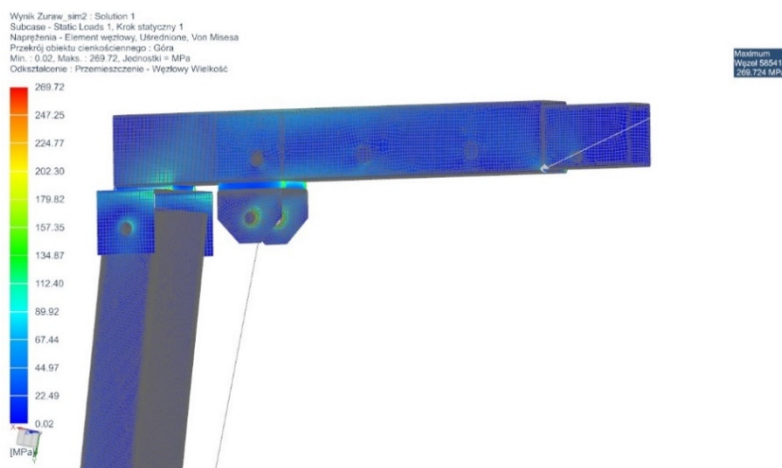
W przypadku wariantu drugiego zastosowano obciążenie siłą 9810 N, które rozłożono w sposób ciągły na tych fragmentach powierzchni wideł, na których opiera się europaleta (rys. 7). W tym przypadku, podobnie jak dla wariantu pierwszego, również zastosowano dwukrotnie większe obciążenie próbne od zakładanego udźwigu.



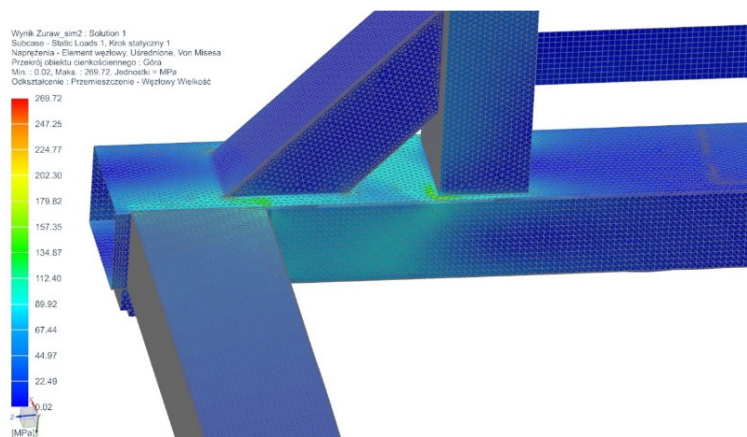
Rysunek 7. Obciążenie konstrukcji dla wariantu drugiego modelu obliczeniowego

4. Analiza wytrzymałości i sztywności projektowanego żurawia warsztatowego

Analizy numeryczne dla obu wariantów modelu obliczeniowego przeprowadzono przy użyciu oprogramowania Siemens NX Nastran [2]. W pierwszej kolejności dla każdego wariantu wykonano obliczenia naprężeń zredukowanych. Na rysunkach 8 i 9 pokazano rozkład naprężeń zredukowanych jaki wystąpi w konstrukcji żurawia przy podnoszeniu z użyciem haka dwukrotnie większego ładunku od dopuszczalnego. Stwierdzono, że nawet przy dwukrotnym przekroczeniu dopuszczalnego udźwigu naprężenia nie przekraczają wartości dopuszczalnych, a największe ich wartości występują w miejscach połączeń realizowanych przy użyciu sztywnych elementów skończonych oraz w miejscach występowania karbów spowodowanych pominięciem w modelu zaokrąglenia i sfazowań.

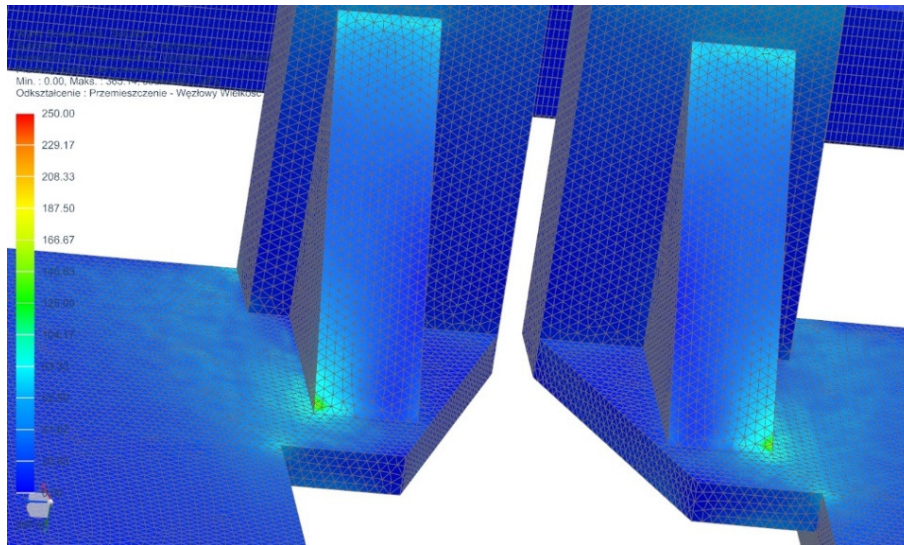


Rysunek 8. Rozkład naprężeń zredukowanych w wysięgniku żurawia warsztatowego przy podnoszeniu ładunku z użyciem haka

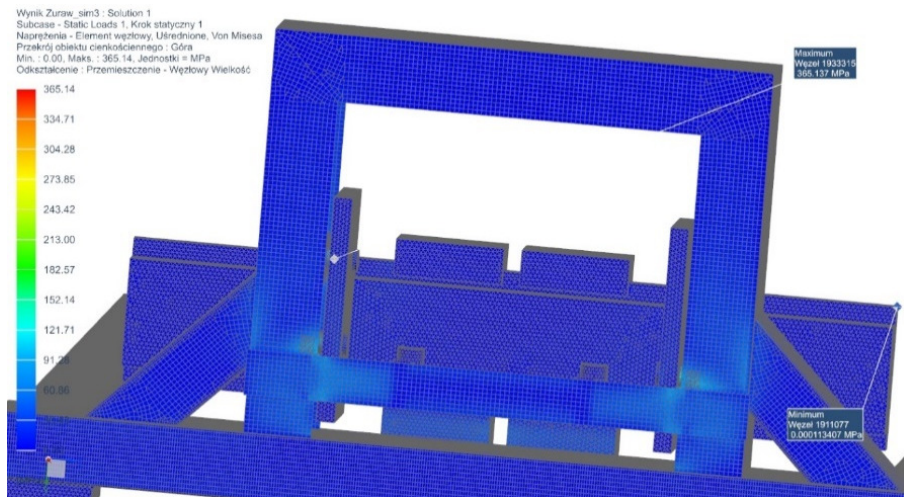


Rysunek 9. Rozkład naprężeń zredukowanych w miejscu połączenia ramy z podstawą przy podnoszeniu ładunku z użyciem haka

Na rysunkach 10 i 11 przedstawiono rozkład naprężeń zredukowanych jaki wystąpi w konstrukcji przy podnoszeniu ładunku z użyciem widel. Przy uwzględnieniu w obliczeniach dwukrotnie większego ładunku od dopuszczalnego stwierdzono co prawda przekroczenie granicy plastyczności użytego materiału ($R_e = 270 \text{ MPa}$) [13], ale biorąc pod uwagę, że największe naprężenia wystąpiły w miejscu lokalnego karbu, a obciążenie było dwukrotnie większe niż dopuszczalne, konstrukcję można uznać za prawidłowo zaprojektowaną pod względem wytrzymałościowym.

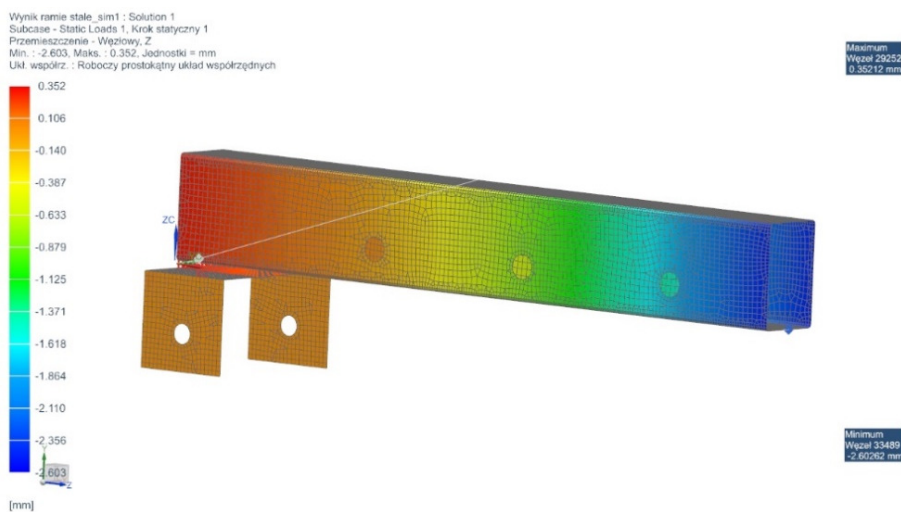


Rysunek 10. Rozkład naprężeń zredukowanych przy podnoszeniu ładunku z użyciem widel

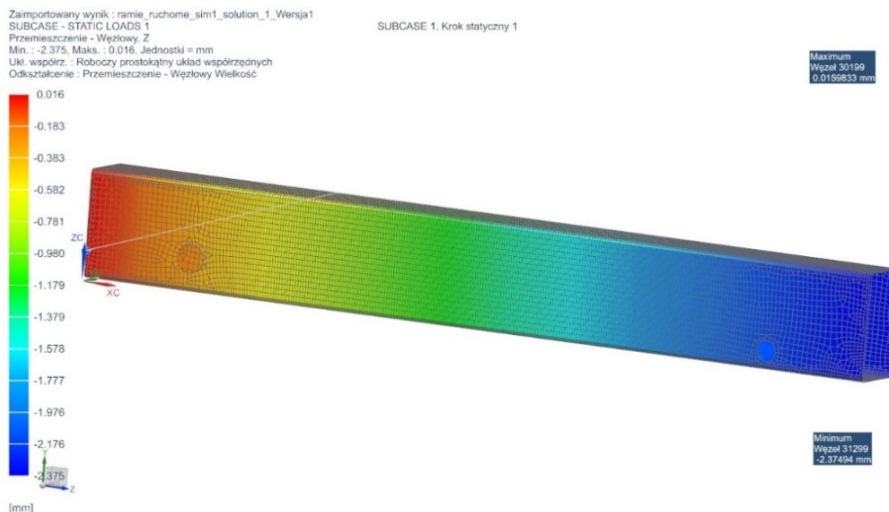


Rysunek 11. Rozkład naprężeń zredukowanych przy podnoszeniu ładunku z użyciem widel

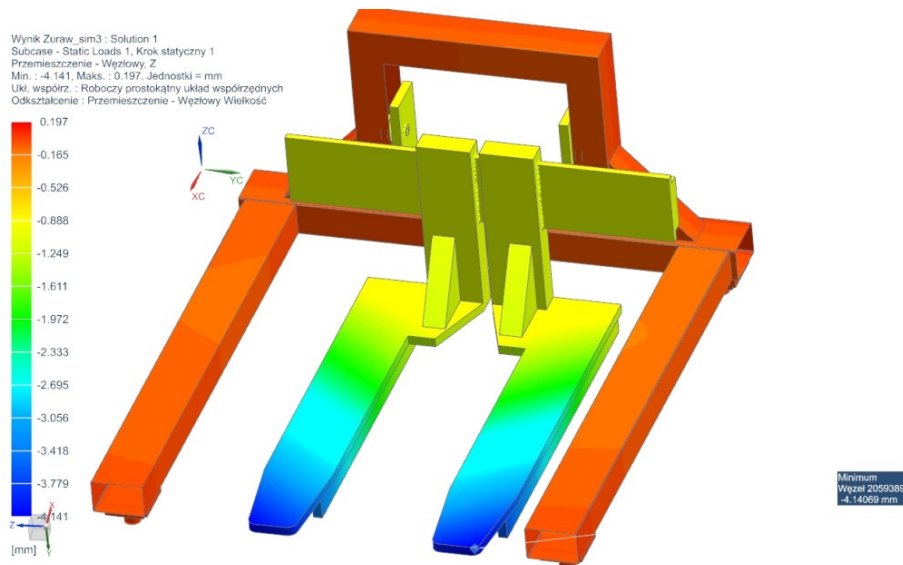
Po obliczeniach wytrzymałościowych przeprowadzono analizę sztywności konstrukcji. Sprawdzenia sztywności dokonano na podstawie obliczonych wartości pionowych przemieszczeń węzłów (rys. 12-14), które dla wybranych elementów struktury żurawia porównano z wartościami dopuszczalnych strzałek ugięcia. Na podstawie danych z literatury przyjęto, że dopuszczalna strzałka ugięcia wynosi $f = L/300$, gdzie L jest długością analizowanego elementu struktury. Wyznaczone w oparciu o powyższe kryterium strzałki ugięcia wyniosły: 3.16 mm dla wideł oraz po 2 mm dla obu członów wysięgnika.



Rysunek 12. Przemieszczenia pionowe węzłów w członie podstawowym wysięgnika przy podnoszeniu ładunku z użyciem haka



Rysunek 13. Przemieszczenia pionowe węzłów w członie wysuwym wysięgnika przy podnoszeniu ładunku z użyciem haka



Rysunek 14. Przemieszczenia pionowe przy podnoszeniu ładunku z użyciem wideł

Po przeprowadzonej analizie okazało się, że ugięcia elementów są nieznacznie większe od teoretycznych, jednak można uznać je za dopuszczalne, gdyż analizy przeprowadzono dla dwukrotnie większych obciążeń od założonych udźwigów.

5. Podsumowanie i wnioski

W pracy przedstawiono modele geometryczny i obliczeniowy projektowanego mobilnego żurawia warsztatowego. Powyższe modele opracowano, a następnie poddano analizie metodą elementów skończonych w programie Siemens NX NASTRAN. Analizy numeryczne przeprowadzono dla dwóch wariantów modelu obliczeniowego, które różnicowano strukturalnie ze względu na rodzaj wykonywanych ruchów roboczych (przy użyciu haka lub wideł) i przekazywane na strukturę żurawia obciążenia (rys. 4). Analizy przeprowadzono w celu sprawdzenia wytrzymałości oraz sztywności projektowanej konstrukcji.

Na podstawie analiz numerycznych stwierdzono, że:

- Przy podnoszeniu z użyciem haka nawet dwukrotnie większego ładunku od dopuszczalnego, naprężenia w żadnym miejscu konstrukcji nie przekraczają wartości dopuszczalnych;
- Pomimo, iż przy podnoszeniu ładunku z użyciem wideł w miejscu lokalnego karbu doszło do przekroczenia granicy plastyczności materiału, to z uwagi na fakt, że zadane obciążenie było dwukrotnie większe niż dopuszczalne, a ponadto we wspomnianej lokalizacji wystąpiły pewne nieprawidłowości w podziale struktury na elementy skończone, konstrukcję można uznać za prawidłowo zaprojektowaną pod względem wytrzymałościowym;
- Chociaż obliczone dla członów wysięgnika oraz wideł strzałki ugięcia są nieznacznie większe od teoretycznych, to można uznać je za dopuszczalne, gdyż

analizy przeprowadzono dla dwukrotnie większych obciążeń od założonych udźwigów.

LITERATURA

1. JÓŹWIAK D., ANTOSIEWICZ M.: „NX – Podstawy modelowania. Synchronous & Realize Shape”, CAMdivision 2015 (dostępny on-line pod adresem: <https://3dcad.pl/aktualnosci/9023/podrecznik-nx-cad-podstawy-modelowania.html>).
2. KOH J.: „Siemens NX Nastran: Tutorials for Beginners and Advanced Users” - CreateSpace Independent Publishing Platform; 1 edition (February 9, 2017).
3. Serwis internetowy firmy TOYA: <http://yato.com/products/4/YT-55562>, 01.09.2018.
4. Serwis internetowy firmy Lema Engineering: <https://www.lemma-wozki.pl/ptm-1016-f-szybka-pompa.html>, 01.08.2018.
5. Serwis internetowy Denios: <https://www.denios.pl/shop/zuraw-z-przeciwwaga-ggk-350-do-ciezarow-trudno-dostepnych-udzwig-100-350-kg>, 1.09. 2018.
6. Serwis internetowy Denios: <https://www.denios.pl/shop/zuraw-przemyslowy-ik-1500-z-ze-specjalna-pompa-hydr-podwozie-rownolegle-udzwig-750-1500-kg>, 01.09.2018.
7. Serwis internetowy Blickle: <https://www.blickle.co.uk/product/LH-GSPO-100K-1-FI-610717>, 12.08.2019.
8. Serwis internetowy Autobrat: <https://www.autobrat.pl/p/domkrat-gidravlicheskiy-la-jns-03-lavita>, 12.08.2019.
9. DIN 8187 (ISO R606-1984) – Łańcuchy rolkowe – norma europejska.
10. Serwis internetowy SKF: <https://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/index.html?designation=6205-2RSH>, 12.08.2019.
11. RAKOWSKI G., KACPRZYK Z.: Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2016.
12. TRĄBKA A.: Dobór uproszczeń podczas opracowywania modeli numerycznych żurawi z zastosowaniem metody elementów skończonych. Teoria maszyn i mechanizmów, T.2, Wyd. AGH 2004, 91-96.
13. Serwis internetowy Konsorcjum Stali: http://www.konsorcjumstali.com.pl/kategorie/wlasnosc_i_stali_wg_en_100251993, 15.02.2019.