

**Autorzy:**

- Poroszewski Paweł, inżynier; Sunnen Polska sp. z o.o., absolwent Politechniki Warszawskiej, Wydziału Samochodów i Maszyn Roboczych; tel. 600-633-366, [pawel.poroszewski@onet.pl](mailto:pawel.poroszewski@onet.pl)
  - Siemiński Przemysław, dr inż., Politechnika Warszawska, Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych, tel. 22-234-86-81, e-mail: [psiem@ipbm.simr.pw.edu.pl](mailto:psiem@ipbm.simr.pw.edu.pl)
- 

## **Projekt konstrukcji i napędu małej, przewoźnej frezarki CNC.**

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono proces projektowania konstrukcji oraz napędu małej frezarki CNC, którą będzie można przewozić w samochodzie osobowym. W tym celu wykonano pełny parametryczny model bryłowy konstrukcji, wyliczono siły działające na maszynę oraz wykonano analizy wytrzymałościowe MES bramy i ramy.

---

### **The project design and drive a small and transportable CNC milling machine**

**Abstract:** This paper presents the design process of drive small CNC milling machine, which can be transported in a passenger car. For this purpose, made a full parametric solid model and calculated the forces acting on the machine. FEM strength analysis was performed for gate and frame.

---

## **1. Wprowadzenie**

Obrabiarki CNC to nie tylko ciężkie maszyny produkcyjne, ale też coraz popularniejsze lekkie konstrukcje stosowane w mniejszych zakładach produkcyjnych, warsztatach rzemieślników i modelarzy. Takie maszyny budzą duże zainteresowanie i są one coraz bardziej powszechne wraz ze wzrostem znajomości i dostępności systemów 3D CAD/CAM. Z powodu, że ceny małych obrabiarek sterowanych numerycznie są wysokie, coraz częściej podejmowane są prace zmierzające do budowy takich maszyn technologicznych jak np.: frezarek i ploterów frezujących, tokarek, termo-formierek [9], wycinarek drutowych i wycinarek skoncentrowanymi strumieniami energii (laserowych, plazmowych, wodnych,...), itp.

W niniejszym artykule opisano fragment prac nad projektem konstrukcji i napędu małej frezarki sterowanej numerycznie. Celem jest lekka (łatwa w transporcie) obrabiarka w pełni 3-osiowa, dedykowana szczególnie dystrybutorom oprogramowania 3D CAM, a także mniejszym warsztatom mechanicznym, modelarnią oraz instytucjom edukacyjnym.

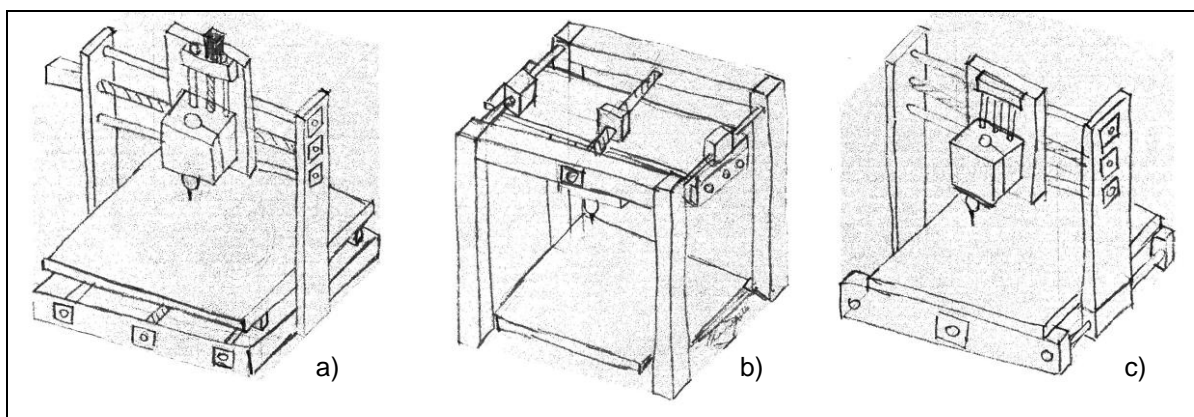
W celu obniżenia kosztów, założono maksymalne użycie elementów prefabrykowanych oraz możliwość obróbki materiałów miękkich tj.: stopy aluminium,

tworzywa sztuczne oraz drewno i materiały drewnopochodne (MDF, HDF). Proponowany typ konstrukcji ma być łatwy w przenoszeniu oraz mieścić się w bagażniku typowego, kompaktowego samochodu osobowego. Sterowanie frezarką miałyby się odbywać przy użyciu zewnętrznego komputera osobistego klasy PC. Prace projektowe podzielono na trzy główne zagadnienia:

- I. Opracowanie parametrycznego modelu 3D CAD;
- II. Obliczenia obciążenia konstrukcji maszyny w relacji do sił skrawania;
- III. Obliczenia MES konstrukcji oraz modyfikacje modelu 3D CAD.

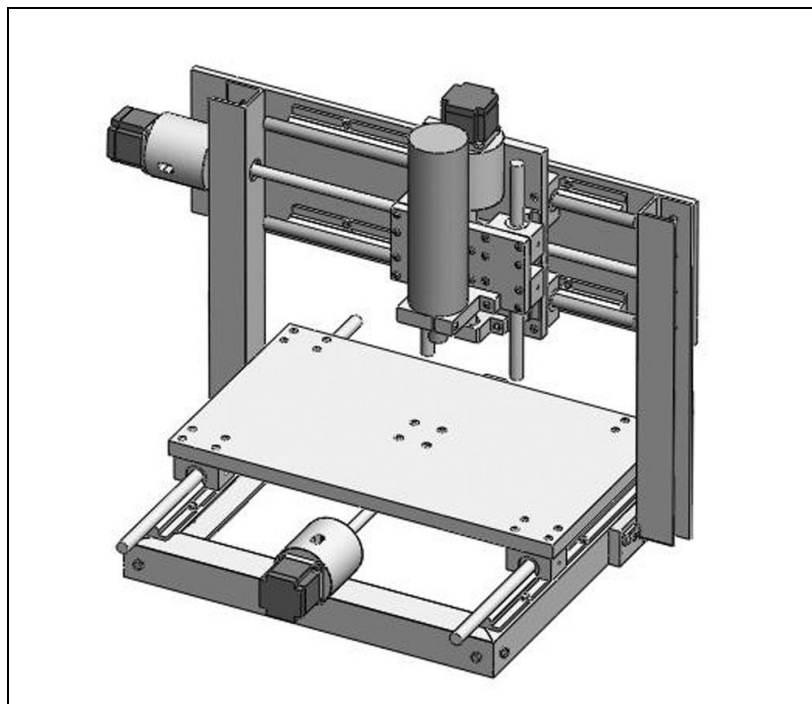
## 2. Modelowanie konstrukcji frezarki CNC:

Podstawą do wyboru rozwiązania konstrukcyjnego obrabiarki był przegląd dostępnych na rynku modeli małych, 3-osiowych frezarek CNC [7]. Na tej podstawie określono najczęściej stosowane rozwiązania kinematyczne takich maszyn (rys. 1), a następnie przeanalizowano ich cechy pod kątem spełniania wymagań stawianych w projekcie. Zdecydowano się na zastosowanie rozwiązania z nieruchomą bramą i ruchomym stołem roboczym (rys.1a).

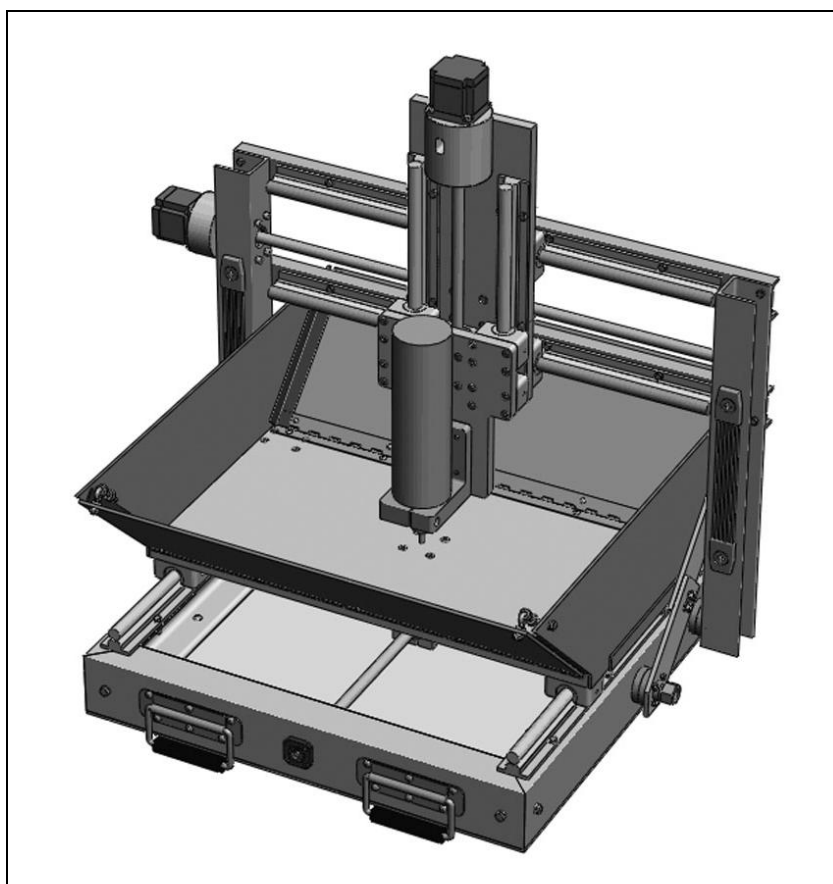


Rys. 1: Szkice odręczne kilku wersji struktury frezarki analizowane pod kątem wymagań projektu.

Ze względu na konieczność ograniczenia kosztów oraz niezbyt duże wymagania, co do dokładności obróbki, zdecydowano się na wykorzystanie w prowadnicach osi sterownych precyzyjnych wałków, natomiast sam napęd realizowany jest za pomocą śrub trapezowych z układem kasującym luz. Po wstępnym dobraniu komponentów i zamodelowaniu ich w programie 3D CAD, opracowano złożenie konstrukcji (rys. 2). Wykonanie pełnego modelu parametrycznego obrabiarki pozwoliło na szybkie i sprawne przeanalizowanie kilku testowanych wersji konstrukcji. Na rys. 3 pokazano końcową wersję geometrii 3D projektu.

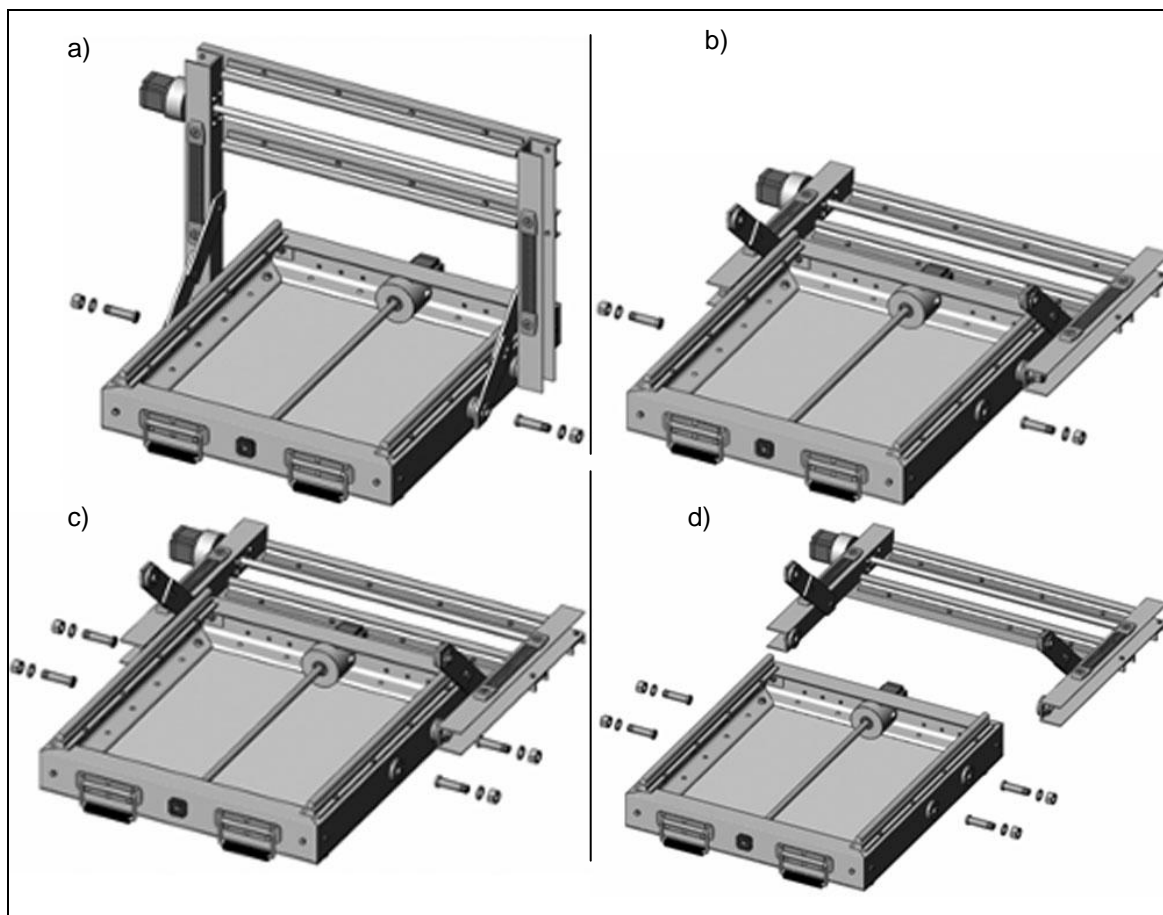


Rys. 2: Model 3D CAD pierwszej wersji frezarki.



Rys. 3: Model 3D CAD finalnej wersji frezarki.

Analiza modelu 3D wskazała na zbyt dużą masę konstrukcji, co utrudniłoby jego przenoszenie przez jedną osobę. Konieczne okazało się podzielenie maszyny na dwa podzespoły (rys. 4). Dodano także uchwyty umożliwiające łatwy transport. W projekcie przewidziano również możliwość założenia osłon przestrzeni roboczej.



Rys. 4: Schemat rozłączania podzespołu bramy od podstawy obrabiarki.

### 3. Obliczenia sił skrawania.

Dobór rozwiązań konstrukcyjnych frezarki oraz ocena jej sztywności wymaga wyznaczenia całkowitej siły skrawania powstającej podczas pracy obrabiarki. Wyznaczenie jej na podstawie dostępnej literatury [1,2,4,5] dla materiałów nieżelaznych okazało się dość problematyczne.

Na potrzeby niniejszej pracy wyznaczono dwa sposoby obliczenia sił skrawania działających podczas pracy na konstrukcje maszyny:

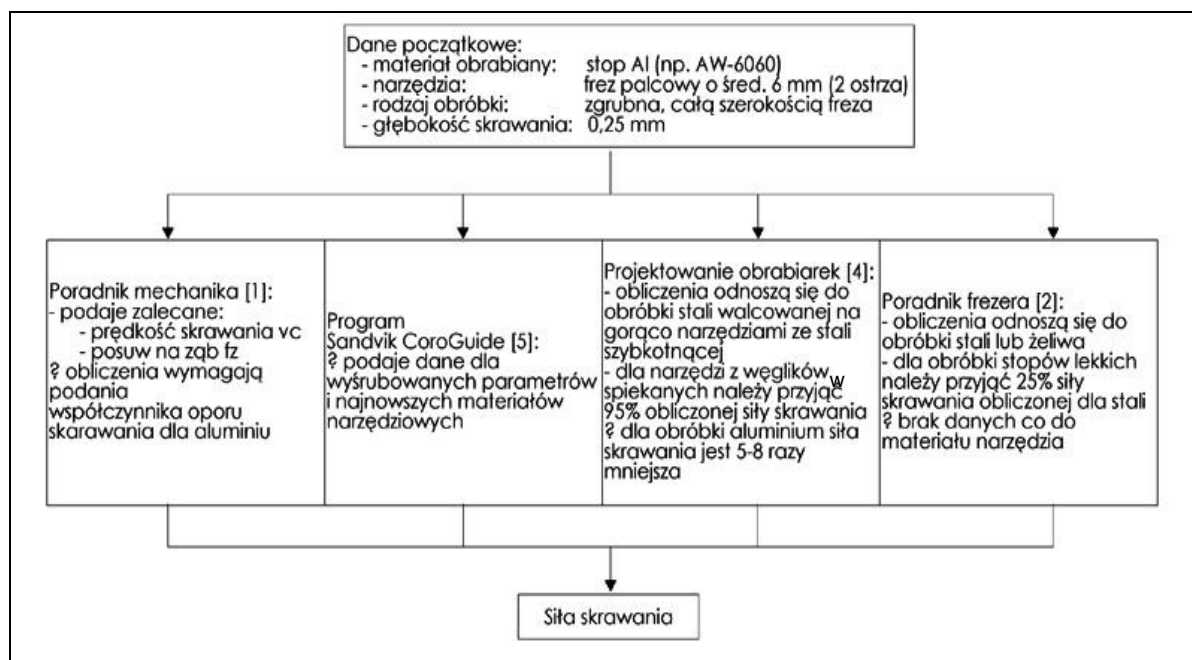
- metoda klasyczna polegająca na obliczeniu sił i doborze parametrów elektrowrzeciona na podstawie żądanych parametrów skrawania;
- metoda odwrotna polegająca na wyznaczeniu maksymalnych sił skrawania, które może pokonać wybrane elektrowrzeciono.

W metodzie klasycznej i odwrotnej do obliczania całkowitej siły i mocy skrawania wykorzystuje się w większości te same wzory, przy czym w wyniku obliczeń metodą klasyczną można osiągnąć wyniki, dla których nie da się dobrać dostępnego na rynku elektrowrzeciono.

W celu obliczenia siły skrawania założono, że w skrajnych warunkach będzie obrabiany stop aluminium o średniej wytrzymałości na rozciąganie (przykładowo EN AW-6060). Będzie to obróbka zgrubna (obwodowa), cała szerokością narzędzia, frezem palcowym dwu-piórowym o średnicy 6mm, na głębokość 0,25mm.

Na podstawie dostępnej analizy literatury [1, 2, 4, 5], obliczenie siły skrawania może być realizowane 4 sposobami (rys. 5). Na rys. 5 pokazano kolejno obliczane teoretyczne parametry skrawania. Okazało się, że źródła literaturowe podają zwykle parametry dla stali konstrukcyjnej [2, 4], a chcąc prowadzić obliczenia dla stopów aluminium, wymagane jest uwzględnienie wskazywanych współczynników podawanych najczęściej w postaci szerokich zakresów. W efekcie obliczona teoretycznie wartość siły skrawania dla tych samych danych początkowych może mieć rozrzut w granicach +/- 30%.

Na podstawie obliczeń dokonanych 4 sposobami (rys. 5), wybrano największą wartość całkowitej siły skrawania, która teoretycznie może pojawić się podczas eksploatacji maszyny. Następnie obliczono rozkład sił przy frezowaniu czołowym [2], które posłużyły do obliczeń sztywności ramy w oprogramowaniu MES. Dzięki temu sprawdzono zachowanie się konstrukcji pod wpływem najniekorzystniejszego dla niej obciążenia roboczego.



Rys. 5: Sposoby obliczania sił skrawania [1,2,4,5].

#### **4. Dobór elektrowrzeciona i silników krokowych**

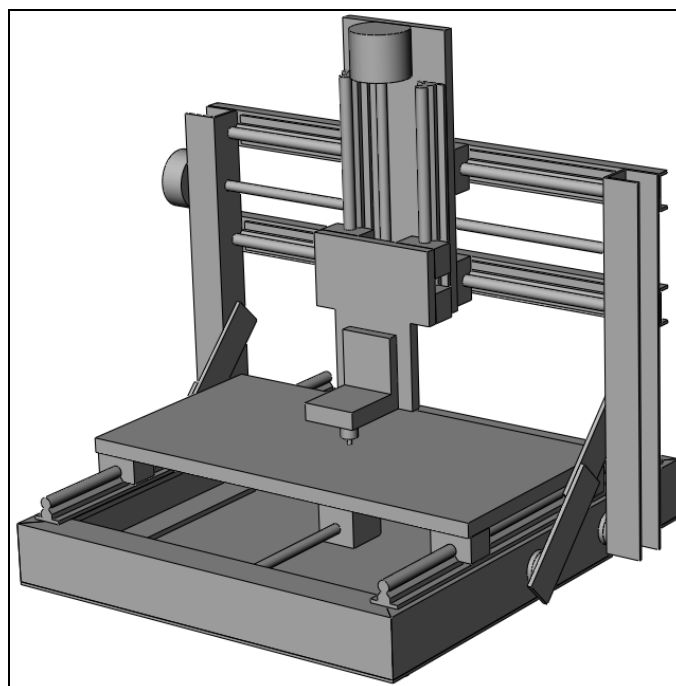
Ze względu na cenę elektrowrzecion o płynnym sterowaniu prędkością obrotową przy pomocy falownika, do niniejszego projektu obrabiarki wybrano model „1050 FME” firmy Kress o mocy maksymalnej 1050 W oraz ze skokową zmianą prędkości obrotowej 10 000 – 29 000 obr./min. [6]. Uzyskiwane prędkości skrawania frezem o średnicy 6mm są na tyle duże (ok. 500 m/min), że zgodnie z zaleceniami producentów narzędzi [5], trzeba stosować frezy z węglików spiekanych. Na podstawie tych danych oraz po uwzględnieniu trapezowej śrub pociągowej Tr 14x4, obliczono częstotliwość generatora dla silnika krokowego. Zdecydowano się na model silnika FL86ST94-2808A uzyskujący dla częstotliwości 5kHz moment 1,6Nm [6]. Wskazany silnik krokowy poprzez śrubę pociągową pozwala maksymalnie wytworzyć wystarczającą siłę pozwalającą pokonać siły skrawania oraz zapewnić odpowiednią dynamikę maszyny.

#### **5. Analiza sztywności ramy**

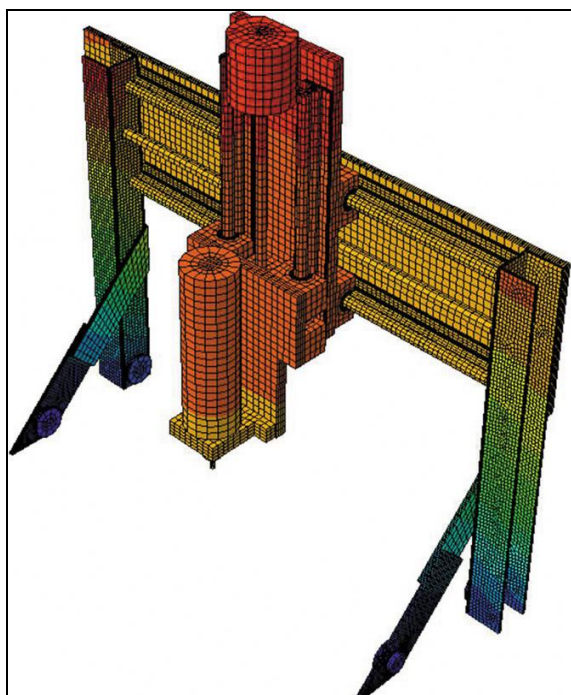
Na potrzeby analizy MES, parametryczny model 3D konstrukcji został uproszczony (rys. 6). Pominięcie łączników i małych otworów nie wpływa znacząco na wyniki analiz, natomiast znacznie je upraszcza i przyspiesza [8]. Podobnie dzieje się w przypadku łączenia nieruchomych względem siebie elementów w jedną bryłę przez co eliminuje się analizę MES z zadaniem kontaktowym w tym miejscu. Bez tych uproszczeń analiza MES mogłaby być praktycznie niemożliwa do przeprowadzenia lub wymagałaby bardzo dużej mocy obliczeniowej komputera. Wyniki obliczeń były podstawą do modyfikacji konstrukcji, aby zapewnić żądaną sztywność (rys. 7 i 8).

Obliczenia MES pozwoliły rozpoznać najbardziej obciążone miejsca w konstrukcji i po modyfikacjach modelu 3D CAD osiągnąć ekonomiczną klasę dokładności (sumaryczne ugięcie końcówki wrzeciona dla najniekorzystniejszych warunków wyniosło 306,7  $\mu\text{m}$ ).

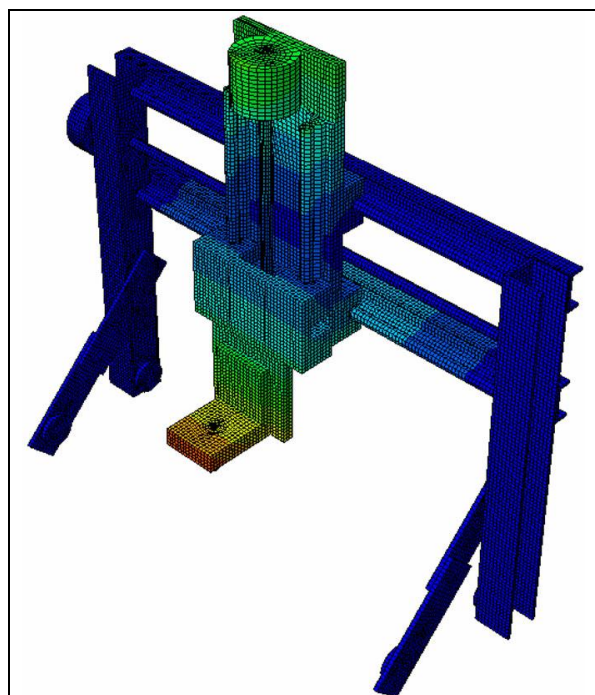
Podsumowaniem tego etapu projektu było sporządzenie kosztorysu uwzględniającego podzespoły i materiały potrzebne do budowy prototypu [6]. Szacowana kwota wyniosła ok. 5000 zł, co biorąc pod uwagę przestrzeń roboczą wynoszącą 300 x 420 x 150 mm, można uznać za dobry wynik [7]. W następnym etapie planowane jest wykonanie prototypu i jego sprawdzenie w praktyce.



Rys. 6. Uproszczony model 3D CAD utworzony na potrzeby analizy MES.



Rys. 7: Analiza wytrzymałościowa MES ramy pionowej przed modyfikacją (Abaqus).



Rys. 8: Analiza wytrzymałościowa MES ramy pionowej po modyfikacji (Abaqus).

## 6. Bibliografia:

- [1] Potrykus J. (red.): Poradnik mechanika. Wydawnictwo REA, Warszawa 2008.
- [2] Górski E.: Poradnik frezera. WNT, Warszawa 1987.
- [3] Osiński Z.: Podstawy konstrukcji maszyn. PWN, Warszawa 1999.
- [4] Wrotny L.: Podstawy konstrukcji obrabiarek. WNT, Warszawa 1973.
- [5] Poradniki oraz katalogi narzędzi frezarskich firmy Sandvik dostępne na stronie internetowej: <http://www.sandvik.coromant.com/pl/>
- [6] Strona internetowa firmy „Akcesoria CNC” z informacjami o częściach do obrabiarek CNC: <http://www.akcesoria.cnc.info.pl/>
- [7] Forum internetowe CNC: <http://www.cnc.info.pl/>
- [8] Osiński J.: Obliczenia wytrzymałościowe elementów maszyn z zastosowaniem metody elementów skończonych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1997.
- [9] Witkowski S., Siemiński P.: Projekt koncepcyjny urządzenia do termoformowania tworzyw sztucznych. Miesięcznik Mechanik nr 2/2011.