

Mateusz Kuś, e-mail: [kus.mate@gmail.com](mailto:kus.mate@gmail.com)

Jakub Siuta, e-mail: [siuta.jakub@gmail.com](mailto:siuta.jakub@gmail.com)

Andrzej Kubik, e-mail: [1989ak@gmail.com](mailto:1989ak@gmail.com)

Dr inż. Henryk Bąkowski, e-mail: [henryk.bakowski@polsl.pl](mailto:henryk.bakowski@polsl.pl)

Politechnika Śląska, Wydział Transportu

## Zastosowanie analizy MES w projektowaniu frezarki sterowanej numerycznie

**Streszczenie.** W pracy przeprowadzono badania symulacyjne za pomocą MES, które pozwoliły na określenie rozkładów i wartości naprężeń/odkształceń oraz przemieszczeń całej maszyny skrawającej. Zastosowanie analizy MES pozwoliło na kompleksową ocenę sztywności i wytrzymałości konstrukcyjnej wykorzystywanych materiałów w budowie frezarki. W ten sposób wykonano szczegółową weryfikację sztywności i wytrzymałości maszyny skrawającej, a także określono parametry techniczne frezarki sterowanej numerycznie, które zadecydowały o możliwościach wykorzystania całego urządzenia.

Słowa kluczowe: MES, sztywność i wytrzymałość frezarki, CNC.

## Application of finite elements method in designing milling CNC

**Abstract.** The paper describes reserches of the simulation studies using FEM, which determine the distribution the stresses/strains and displacements and their values the milling machine. Application of FEM analysis allowed the estimation of the stiffness and strength strenght in the construction of the milling machine. This allowed to perform detailed verification machine stiffness and strength, and also to choose the technical parameters specified numerically controlled milling machines which have decided to use the capabilities of the device.

Keywords: FEM, stiffness and strenght of milling mashine, CNC

### 1. WPROWADZENIE

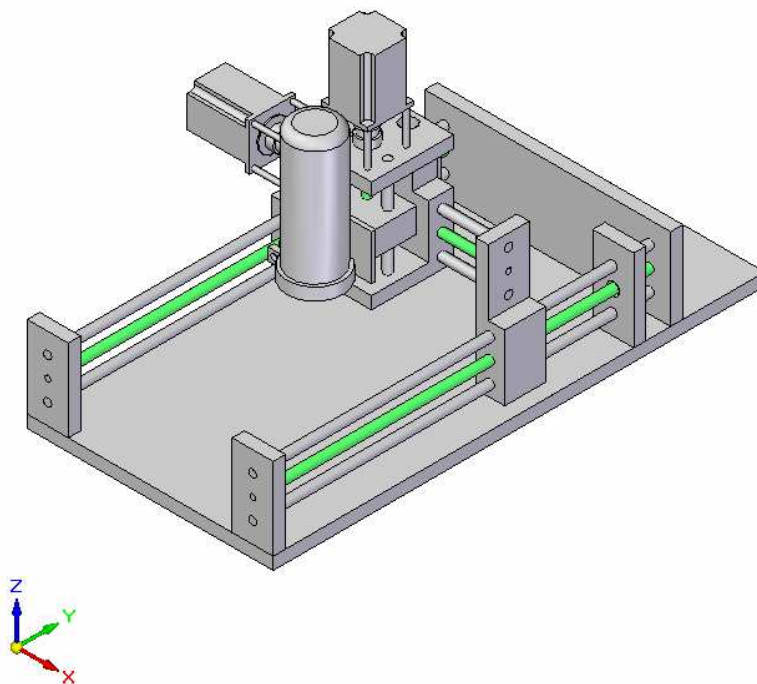
Urządzenia sterowane numerycznie stały się przełomem w przemyśle każdego rodzaju, a komputery zostały integralną częścią wszystkich warsztatów i zakładów obróbkowych. Ta automatyzacja jest jednym ze sposobów pozwalających na optymalizację procesu produkcji – chodzi przede wszystkim o powtarzalność jakościową wytwarzanych serii produktów, zmniejszenie czasu potrzebnego do wyprodukowania pojedynczego elementu, a co za tym idzie – redukcję nakładów finansowych. Sterowanie numeryczne ma przy tym niepodważalną zaletę: technologia ta jest identyczna dla wszystkich maszyn i urządzeń obróbki skrawaniem, niezależnie od ich rodzaju. Różnią się jedynie sposobem implementacji danych wejściowych do układu. Aby pojąć zasady procesu konstruowania obrabiarek sterowanych numerycznie, stworzono konstrukcję 3-osiowej frezarki CNC pracującej docelowo w materiałach o niewielkiej twardości, tj. w drewnie, żywicy modelarskiej, tworzywach sztucznych, a także metalach nieżelaznych [1]. Faza projektowania urządzenia jest jednym z najważniejszych etapów powstawania jakiegokolwiek konstrukcji. To samo dotyczy obrabiarek. Przemysłany, zgodny ze wszystkimi regułami podstaw konstrukcji maszyn projekt, to fundament każdej maszyny, która ma działać długo, bezawaryjnie i zgodnie z przeznaczeniem. Trzeba przy tym pamiętać, że konstruowanie to proces długi, trudny i złożony. Projektant musi wyeliminować złe rozwiązania, określić dobre i znaleźć najlepsze, postępując się dwoma zasadami projektowania:

- każdy projekt musi spełniać lub przewyższać wszystkie określone wcześniej założenia,
- stworzony projekt musi być optymalny.

Druga zasada jest szczególnie ważna, ponieważ pierwszy warunek może być spełniany przez wiele konstrukcji. Projektant musi wybrać tę optymalną, czyli konstrukcję najkorzystniejszą w danych warunkach [2].

## 2. MODEL 3D

Najważniejszym wymogiem stawianym maszynom sterowanym numerycznie jest ich odpowiednia sztywność, która stanowi niezbędny warunek do uzyskiwania żądanej dokładności kształtowo-wymiarowej wytwarzanego na obrabiarce elementu. Kolejny warunek, jaki musi spełniać obrabiarka, to stabilność konstrukcji i izolacja od powstających podczas procesu skrawania drgań. Oczywiście w przypadku maszyny niewielkich rozmiarów, masa samego urządzenia winna być możliwie jak najmniejsza, podobnie jak opory ruchu dla każdej projektowanej osi. Można to osiągnąć dzięki właściwemu łożyskowaniu oraz zapewnieniu odpowiednich warunków pracy mechanizmów napędu i posuwu liniowego. Ma to znaczny wpływ na późniejszą trwałość obrabiarki, a co za tym idzie koszty związane z jej obsługą i ewentualnymi naprawami. Wszystkie powyższe warunki mają niebagatelne znaczenie w kontekście jakości i dokładności wytwarzanych przez maszynę elementów, a całość powinna odbyć się możliwie jak najmniejszym nakładem finansowym (rys. 1).



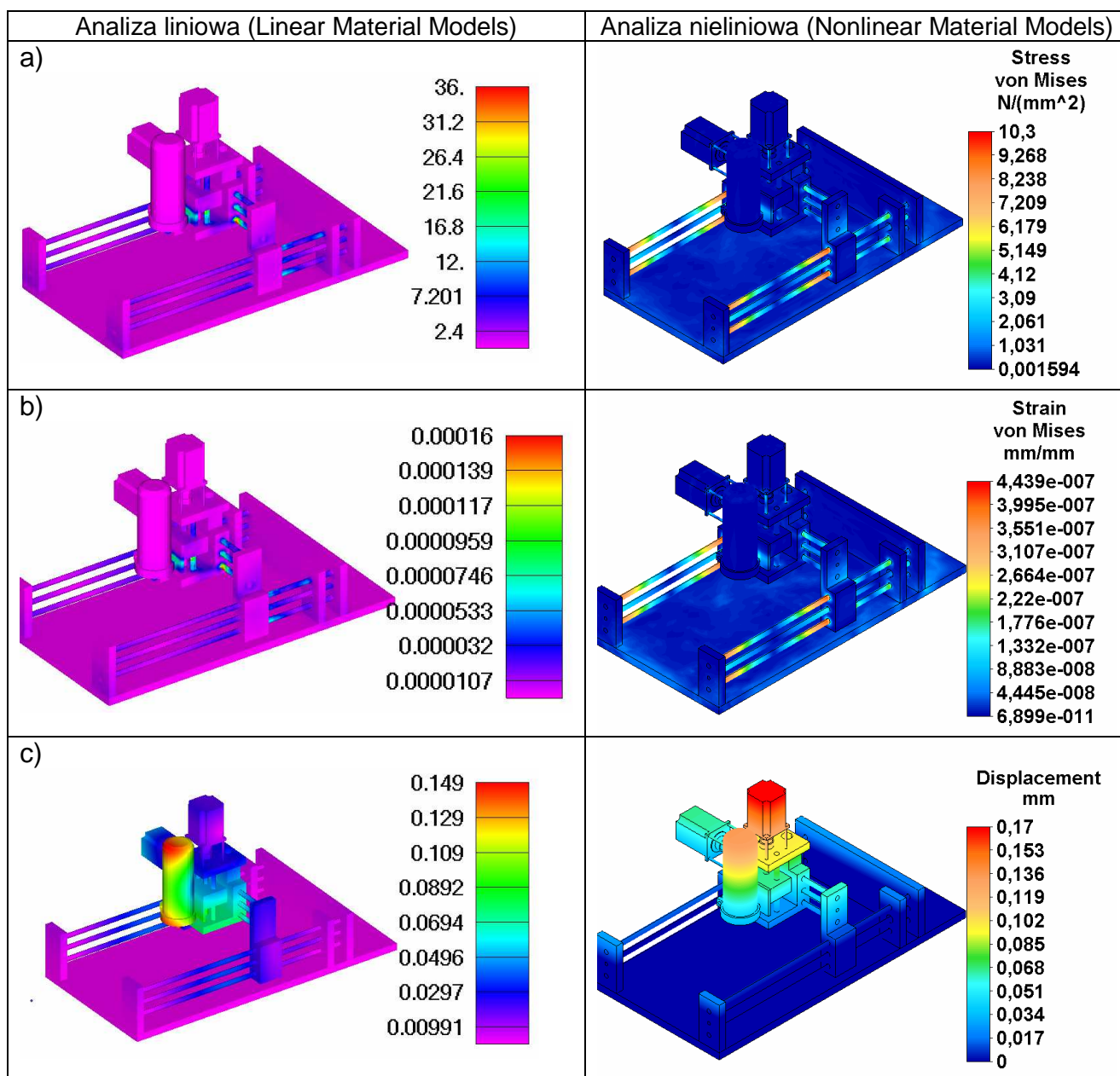
Rys. 1. Model 3D frezarki

W związku z wieloma warunkami, jakie musi spełniać obrabiarka sterowana numerycznie, należy zrezygnować z dokładnego spełnienia części z nich, na korzyść pozostałych. Jest to pierwszy etap projektowania, który decyduje o późniejszej charakterystyce i przeznaczeniu urządzenia. W wyniku tego procesu powstały ogólne założenia i najważniejsze wymagania projektu:

- zapewnienie jak najwyższej sztywności i stabilności konstrukcji obrabiarki,
- możliwie niski koszt wytworzenia urządzenia,
- minimalizacja oporów ruchu dla każdej z zaprojektowanych osi,
- uzyskanie jak największej dokładności przy spełnieniu pozostałych wymagań.

### 3. BADANIA SYMULACYJNE ZA POMOCĄ METODY ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH

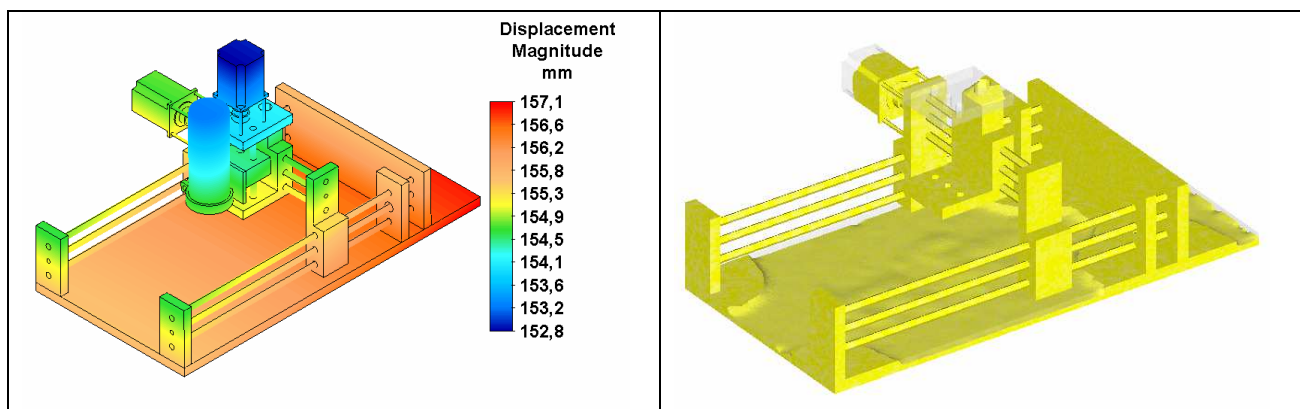
Zastosowanie Metody Elementów skończonych pozwoliło wyznaczyć rozkłady i wartości naprężeń zredukowanych, odkształceń oraz przemieszczeń. Obliczenia wykonano dla każdej z trzech osi. Narzucone warunki symulują pracę urządzenia podczas obróbki stopów metali nieżelaznych, a siła przyłożona do narzędzia skrawającego wynosiła 800 N. Prawidłowa wartość naprężeń zredukowanych ma niebagatelne znaczenie dla trwałości i niezawodności maszyny oraz znaczący wpływ na jej pracę, a także na jakość wytwarzanych elementów. Przekłada się to na koszty obsługi urządzenia i wyprodukowania pojedynczego przedmiotu [3].



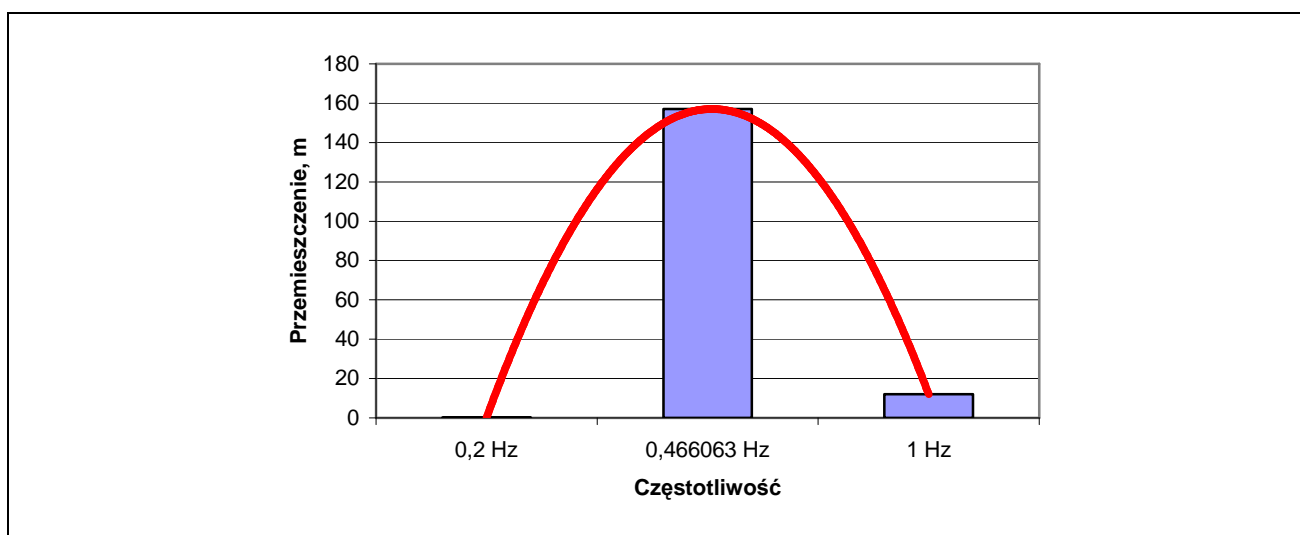
Rys. 2. Rozkłady: a) naprężeń zredukowanych Misesa, b) odkształceń, c) przemieszczeń

Naprężenia podczas obróbki stopów metali nieżelaznych (rys. 2, a i b) nie wykazują wartości przekraczających naprężenia dopuszczalne dla wykorzystywanych w budowie frezarki materiałów. Świadczy to o właściwym doborze materiałów i prawidłowym procesie obliczeń wytrzymałościowych gwarantujących stabilność i sztywność konstrukcji. Przeszczenia powstające podczas pracy obrabiarki mają olbrzymi wpływ przede wszystkim na dokładność wymiarowo-kształtową obrabianego elementu, ale również na pracę i trwałość narzędzia roboczego. Zbyt duże wartości przeszczeń mogłyby doprowadzić do powstania dodatkowych sił zakłócających proces skrawania, a co za tym idzie nawet do trwałego uszkodzenia narzędzia roboczego [4]. Wyniki obliczeń przedstawiono na rysunku 2 c.

W celu kompleksowego przedstawienia analizy wytrzymałościowej wykonano badania drgań własnych z uwzględnieniem częstotliwości rezonansowej oraz analizę optymalizacyjną wykorzystywanych materiałów. Wyniki przedstawiono na rysunku 3 i 4.



Rys. 3. Rozkład: a) przeszczeń, b) prognozowanego wykorzystania materiałów w budowie frezarki



Rys. 4. Rozkład: a) przeszczeń, b) prognozowanego wykorzystania materiałów w budowie frezarki

Przy częstotliwości 0,466063 Hz może dojść do zniszczenia maszyny skrawającej, gdyż drgania własne pokrywają się z drganiami wymuszonymi (rezonans).

## 4. PODSUMOWANIE

Wyniki wszystkich obliczeń wytrzymałościowych są prawidłowe i zapewniają, że projekt urządzenia powstał zgodnie ze wszystkimi zasadami podstaw konstrukcji maszyn. Dowodzą one również o zapewnieniu odpowiedniej wytrzymałości oraz sztywności konstrukcji, co wskazuje na stosowny dobór materiałów i właściwy przebieg procesu obliczeniowego. Dokładność wytwarzanych przez obrabiarkę elementów zapewniają niskie wartości przemieszczeń (jak na projekt amatorskiej maszyny skrawającej) powstających podczas procesu skrawania. Może być ona obniżona jedynie przez straty spowodowane luzami pomiędzy częściami ruchomymi urządzenia.

## LITERATURA

- [1] Raksiri Ch., Parnichkun M.: Geometric and force errors compensation in a 3-axis CNC milling machine. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 44, (2004) 1283-1281.
- [2] Poroszewski P., Siemiński P.: Projekt konstrukcji i napędu małej, przewoźnej frezarki CNC. Artykuł Autorski z Konferencji „X Forum Inżynierskie ProCAx”, Sosnowiec/Siewierz, (6-9.10.2011) s. 1-8.
- [3] Łodygowski T., Kąkol W.: Metoda Elementów Skończonych w wybranych zagadnieniach mechaniki konstrukcji inżynierskich. Alma Mater, 2003.
- [4] Bąkowski H., Posmyk A.: Finite Elements Method aide analysis of the wear of some selected sub-assemblies in technical means of transport. Monograph. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011.

artykuł Autorski /wzorcowy/ do obejrzenia

[http://www.procacx.org.pl/pliki/43\\_plakat\\_Sosnowiec\\_2013.pdf](http://www.procacx.org.pl/pliki/43_plakat_Sosnowiec_2013.pdf)