



## Symulacja komputerowa naprężeń występujących podczas pracy freza krążkowego modułowego wykonanego ze stopów miedzi

B. Preficz<sup>a</sup>, M. Dybała<sup>a</sup>, A. Śliwa<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Studenci Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny  
email: bartosz\_pr@wp.pl, michal-dybala@wp.pl

<sup>b</sup> Politechnika Śląska Wydział Mechaniczny Technologiczny Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych  
email: agata.sliwa@polsl.pl

**Streszczenie:** Celem niniejszej pracy było przedstawienie symulacji dopuszczalnych naprężeń mechanicznych powstałych w narzędziu podczas skrawania. Analiza została wykonana w module służącym do wykonywania symulacji programu Autodesk Inventor, wykorzystującym metodę elementów skończonych.

**Abstract:** The aim of this study was to present a simulation of mechanical stress caused in the tool during cutting. The analysis was performed using simulation module of Autodesk Inventor, by applying finite element method.

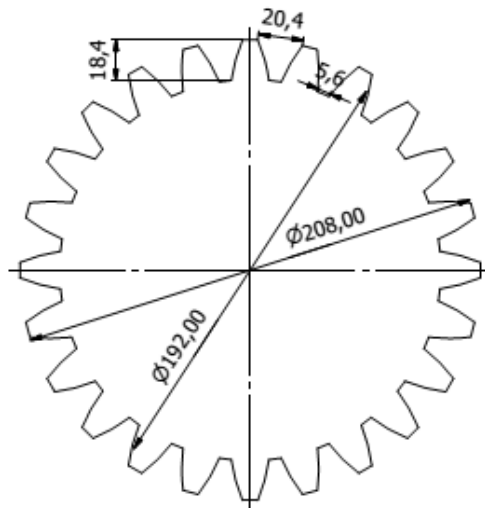
**Słowa kluczowe:** naprężenia mechaniczne, skrawanie

### 1. WPROWADZENIE

Wytrzymałość każdego materiału inżynierskiego definiuje jego zastosowania na elementy maszyn lub narzędzi stosowanych w obróbce innych materiałów. Różnorodne stałe oraz zależności pozwalają na matematyczne obliczenia możliwości zastosowania materiału na dany element, niestety metoda ta nie ukazuje rozłożenia naprężeń w danym elemencie, bądź wyliczenie każdego punktu geometrycznego danego kształtu jest czasochłonne, co utrudnia pracę konstruktora. Podczas pracy, dany element jest poddawany obciążeniu, przez co może ulec odkształceniu plastycznemu. Gdy nadane obciążenie osiągnie zbyt dużą wartość, może nastąpić odkształcenie lub zniszczenie elementu, w tym przypadku frezu. Odkształcenie spowoduje nieodwracalne zmiany nie tylko w geometrii, a także w strukturze wewnętrznej, co uniemożliwi dalszą pracę danego elementu [1÷4].

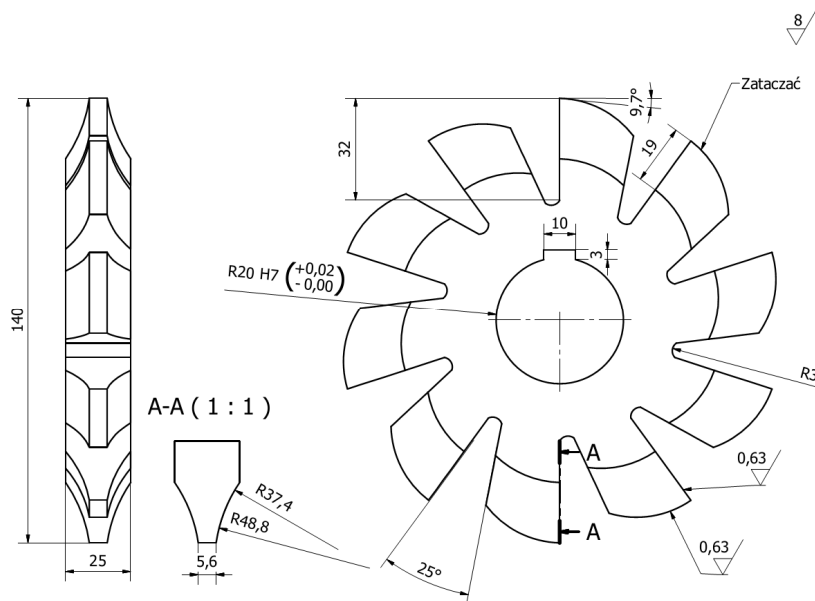
Frez został zaprojektowany do spełnienia rzeczywistych wymagań stawianych frezom modułowym stosowanym do zadanego rodzaju obróbki przykładowego stopu miedzi MA62 [5]. Jako materiał narzędzia została wybrana stal szybko tnąca HS6-5-4, zgodna z normą PN-EN ISO 4957:2004 [6,7]. Twardość tej stali po hartowaniu z 1210°C i chłodzeniu w oleju wynosi 64 HRC. Następnym krokiem było wykonanie możliwie dokładnego geometrycznie

modelu z wykorzystaniem programu Autodesk Inventor, zgodnego z wymiarami podanymi na rysunku 2 [8÷11].



| LISTA CZĘŚCI |       |                      |                          |
|--------------|-------|----------------------|--------------------------|
| ELEMENT      | IŁOŚĆ | NR CZĘŚCI            | OPIS                     |
| 1            | 1     | Przekładnia walcowa1 | Moduł 8; Liczba zębów 24 |

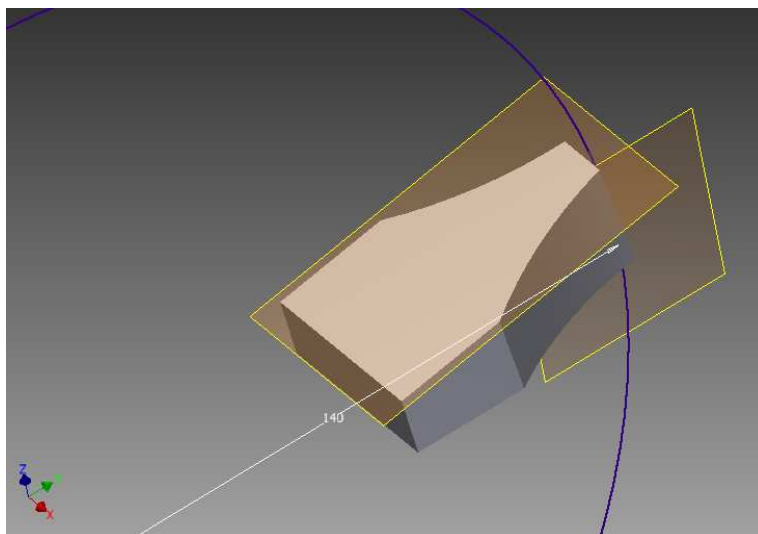
Rysunek 1 Rysunek wymiarowy obrabianego koła zębatego.  
Figure 1. Dimensioned drawing of machined gear



Rysunek 2 Rysunek wymiarowy zamodelowanego freza  
Figure 2. Dimensioned drawing of modelled gear cutter

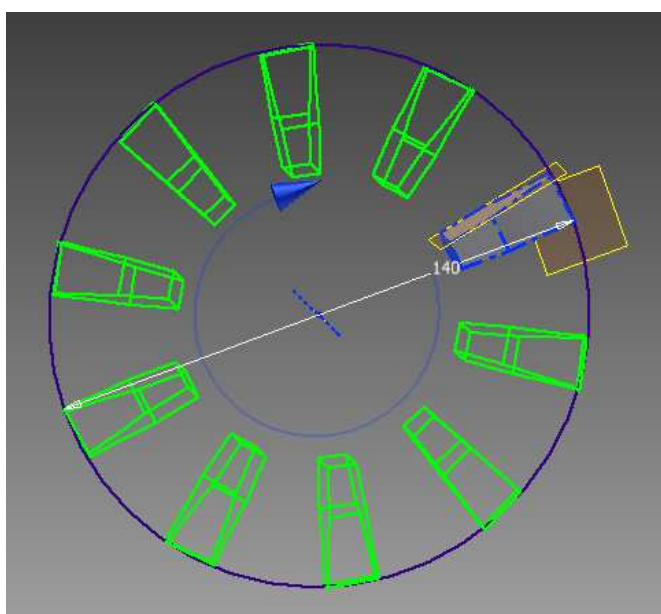
## 2. MODELOWANIE FREZA KRĄŻKOWEGO

Modelowanie rozpoczęto od wykonania szkicu zęba, jako najważniejszej części narzędzia, wymagającej największej dokładności w modelu. Zaczęto od naszkicowania powierzchni natarcia i wyciągnięcia po torze kołowym pożądanego zarysu zęba, jak przedstawiono na rysunku 3. Następnie uwzględniona została krzywa zatoczenia, zgodna z kątem przyłożenia. Kolejnym krokiem było dodanie do modelu odpowiedniej ilości zębów, z wykorzystaniem szyku kołowego, jak pokazano na rysunku 4.



Rysunek 3 Model pojedynczego zęba

*Figure 3. Single tooth model*



Rysunek 4 Szyk kołowy

*Figure 4. Circular pattern cloning*

W następnych krokach, dodana została pozostała część materiału narzędzia, wykorzystując funkcję wyciągnięcia z usuwaniem materiału, dodano otwór wraz z rowkiem wpustowym, a dzięki funkcji zaokrąglenia kształtu, nadany został kształt rowków wiórowych. Operacje te doprowadziły do uzyskania rzeczywistego modelu freza, przedstawionego na rysunku 5.



Rysunek 5. Pełny model rzeczywisty narzędzia

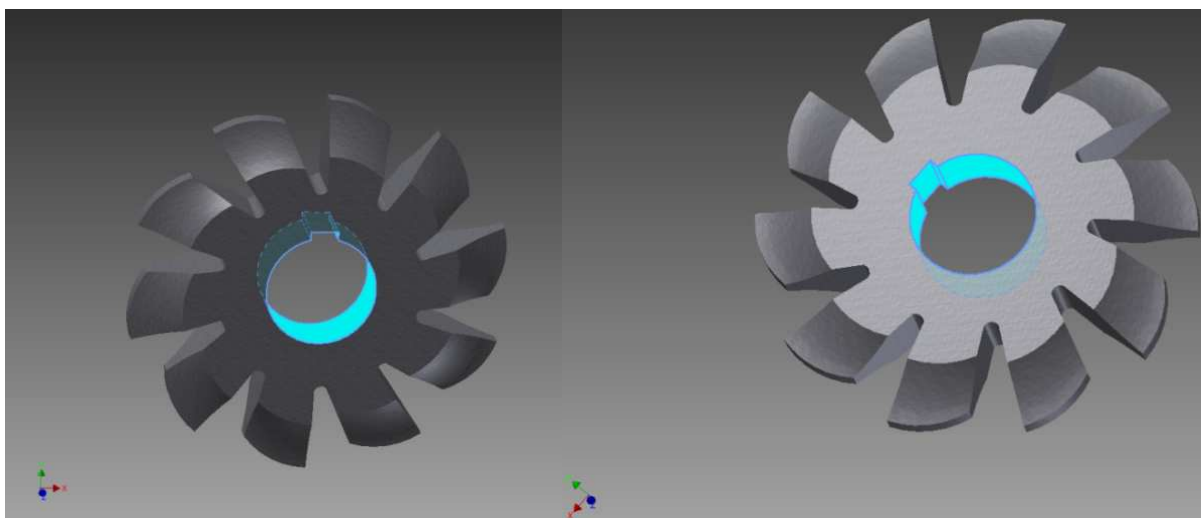
*Figure 5. Real model of a modelled tool*

### 3. ANALIZA NAPRĘŻEŃ FREZA KRAŻKOWEGO PODCZAS PRACY

Kolejną część stanowi wykonanie symulacji naprężeń mechanicznych powstających w narzędziu, w warunkach pracy. W tym celu wykorzystano narzędzie służące do przeprowadzenia analizy statycznej programu Autodesk Inventor. Projektowanie symulacji rozpoczęto od przypisania materiału narzędzia i właściwych dla niego parametrów mechanicznych. Następnie dodane zostały wiązania ograniczające ruch narzędzia, symulujące połączenie freza z wałem (rysunek 6).

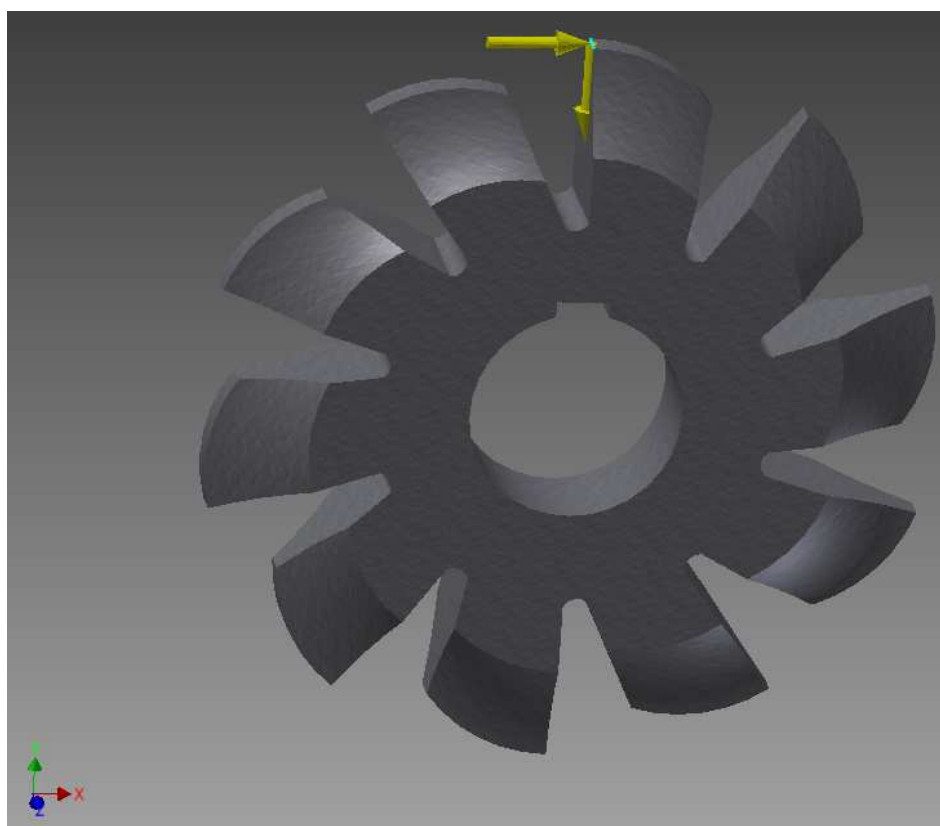
W kolejnym kroku do modelu zostały dodane siły działające na pojedynczy ząb freza w czasie pracy (rysunek 7). Nadana siła wynosiła odpowiednio 1619,2 N w kierunku osi X, a 728,64 N w kierunku osi Y. Po wykonaniu powyższych kroków, można było przystąpić do nałożenia na model siatki, jak przedstawiono na rysunku 8.

Ostatnim etapem było uruchomienie symulacji z zadanymi parametrami. W jej wyniku uzyskano między innymi symulację rozkładu naprężeń i odkształceń dla poszczególnych fragmentów modelu (odpowiednio rysunki 9 i 10). Uzyskane wyniki pozwalają określić możliwe warunki pracy dla danego elementu, po przez możliwość zmiany parametrów procesu oraz samego narzędzia, bez konieczności badania empirycznego, co powoduje ograniczenie kosztów związanych z materiałem narzędzia oraz przebudowy stanowiska roboczego.



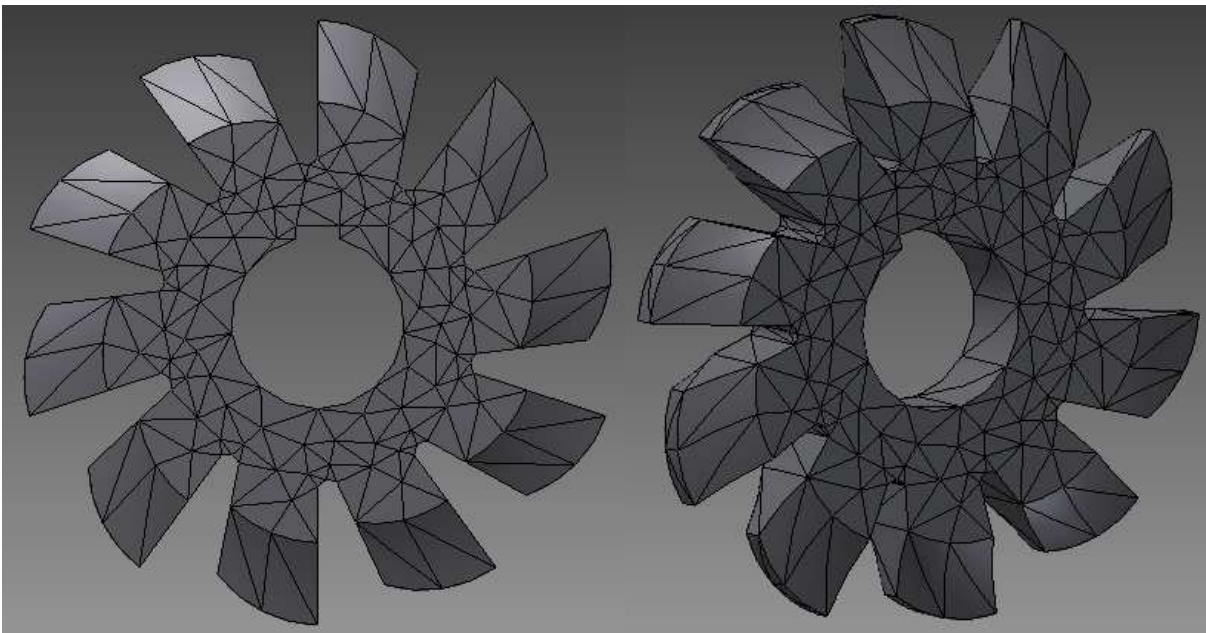
Rysunek 6. Nałożenie wiązań na narzędzie

Figure 6. Binding applying

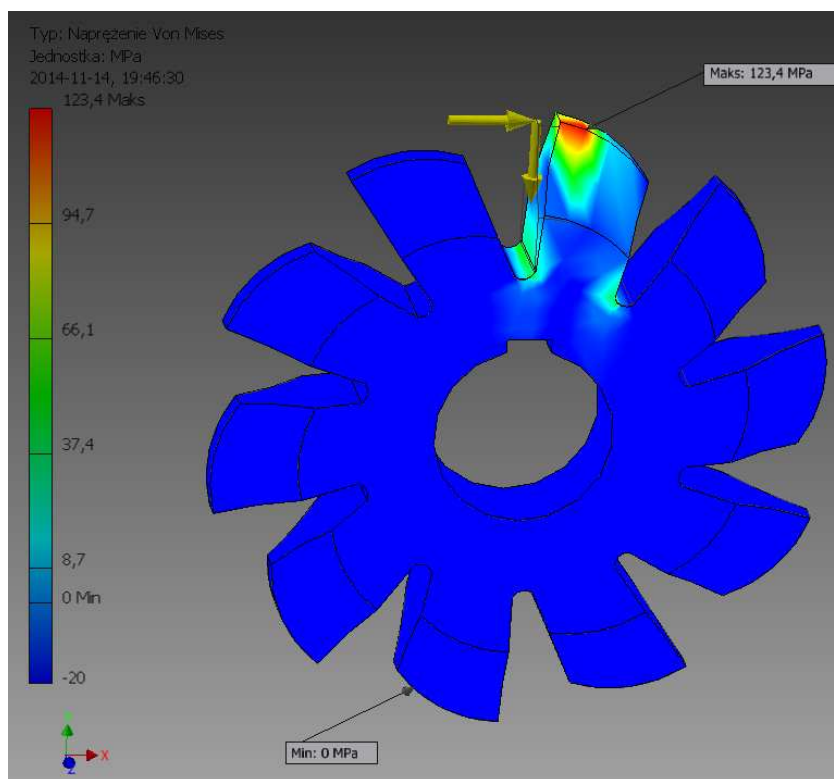


Rysunek 7. Przedstawienie sił działających na narzędzie

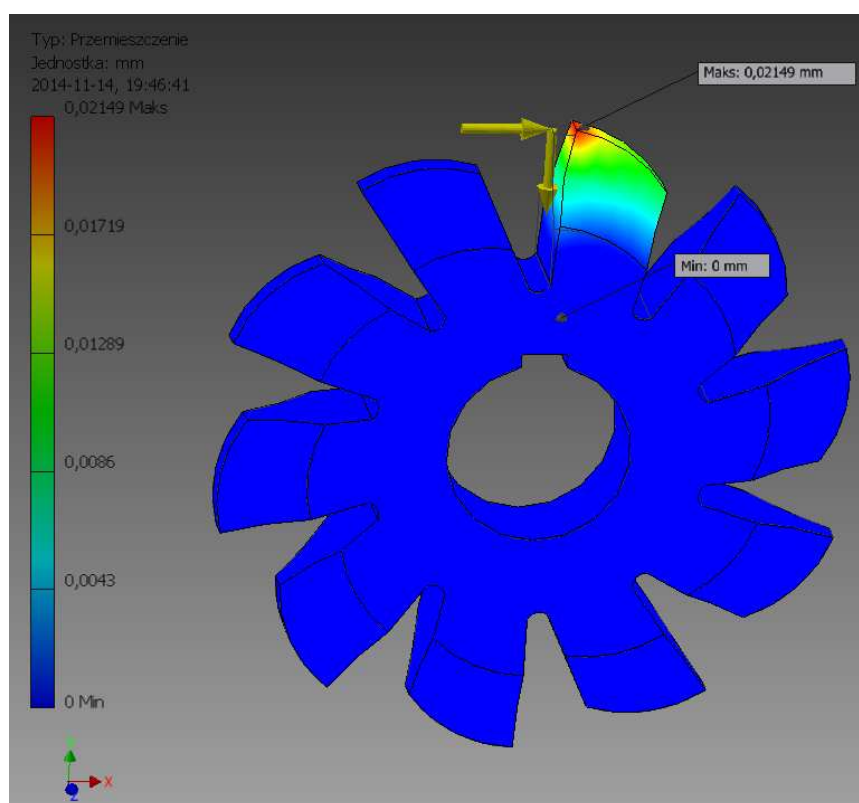
Figure 7. Representation of forces present during machining



Rysunek 8. Element po meshowaniu  
*Figure 8. Tool model with mesh applied*



Rysunek 9. Symulacja naprężeń w modelu narzędzia  
*Figure 9. Internal stresses simulation*



Rysunek 10. Symulacja odkształceń w modelu narzędzia  
*Figure 10. Deformation simulation*

#### 4. PODSUMOWANIE

W powyższym artykule przedstawiono analizę dopuszczalnych naprężeń mechanicznych powstałych w analizowanym frezie podczas skrawania. Analizowane naprężenia przedstawiono w postaci graficznej, gdzie nadane siły określiły stopień odkształcenia sprężystego oraz naprężeń działających na frez podczas pracy przy w/w obciążeniu.

Projekt freza krążkowego wykonany został przy zastosowaniu programu Autodesk Inventor Professional 2012 wersja edukacyjna.

#### LITERATURA

1. Z. Brzoska, Wytrzymałość materiałów, PWN, Warszawa, 1970.
2. Z. Dyląg, A. Jakubowicz, i in., Wytrzymałość materiałów, WNT, Warszawa, 1988.
3. P. Jastrzebowski, J. Mutermilch, i in., Wytrzymałość materiałów, Arkady, Warszawa, 1975.
4. R. Bąk, T. Burczyński, Wytrzymałość materiałów z elementami ujęcia komputerowego, WNT, Warszawa, 2008.
5. PN-91/H-87026 – Odlewnicze stopy miedzi.
6. PN-EN ISO 4957:2004 – Stale narzędziowe.

7. strona internetowa: [http://www.steelnumber.com/en/steel\\_composition\\_eu.php?name\\_id=1007](http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=1007). 2014.
8. E. Górski, Narzędzia skrawające kształtowe. Noże, przeciągacze, frezy, WNT, Warszawa, 1968.
9. P. Cichosz, Narzędzia skrawające, WNT, Warszawa, 2006.
10. E. Górski, Poradnik frezera, WNT, Warszawa, 1999.
11. W. Tarnowski, Wspomaganie komputerowe CAD CAM. Podstawy projektowania technicznego, WNT, Warszawa, 1986.