

Janusz GRZYWOCZ<sup>1</sup>

## **OBLICZENIA ZESPOŁÓW OBRABIAREK W ZINTEGROWANYCH ŚRODOWISKACH ADAMS I ANSYS**

W artykule przedstawiono badania sztywności statycznej obrabiarki KCI 210/280 NM w zintegrowanych środowiskach ANSYS oraz ADAMS. Obliczenia wykonano w konwencji hybrydowej metody elementów skończonych HMES, traktując poszczególne zespoły obrabiarek jako odkształcalne oraz sztywne. Dzięki integracji środowisk CAE możliwa jest realizacja badań sztywności statycznej w konwencji HMES. Omówiono sposób dyskretyzacji modelu geometrycznego obrabiarki, uwzględniający odpowiednie więzy kinematyczne oraz sztywne i odkształcalne zespoły obrabiarki. Ważnym etapem, w badaniach sztywności statycznej obrabiarki, był dobór parametrów sztywności i tłumienia poszczególnych elementów sprężysto-tłumiących, w celu ich zaimplementowania do środowiska ANSYS i ADAMS. Wykorzystano do tego autorską aplikację KBM-HMES. W kolejnym etapie wykonano badania symulacyjne sztywności statycznej dla minimalnego oraz maksymalnego wysuwu suwaka narzędziowego obrabiarki. Ostatnim etapem było porównanie wyników otrzymanych w środowiskach ANSYS oraz ADAMS.

### **1. WPROWADZENIE**

Przez pojęcie hybrydowej metody elementów skończonych (HMES) rozumie się rozpatrywanie w badanym modelu geometrycznym sztywnych oraz odkształcalnych zespołów [3]. Zatem model obrabiarki może uwzględniać zarówno zespoły sztywne (jak np. zespoły korpusowe) oraz zespoły modelowane podatnymi lub sztywnymi elementami skończonymi. Podejście takie wymaga opracowania sposobów połączenia zespołów obrabiarki odpowiednimi więzami kinematycznymi. Autor opracował własne oprogramowanie KBM-HMES, wspomagające dobór współczynników sztywności i tłumienia dla elementów sprężysto-tłumiących. Sztywność statyczna zespołów obrabiarek, tworzących np. układ nośny jest jedną z najważniejszych cech, decydujących o dokładności wymiarowo – kształtowej przedmiotów obrabianych. W procesie projektowo – konstrukcyjnym prowadzone są obliczenia oraz badania doświadczalne właściwości statycznych różnych elementów obrabiarek w celu określenia wielkości względnych przemieszczeń narzędzia i przedmiotu obrabianego i oceny ich wpływu na dokładność obróbki [5],[6]. Na rynku dostępnych jest wiele programów pozwalających na obliczenie zespołów obrabiarek pod kątem sztywności statycznej [1],[2]. Głównymi i najbardziej

---

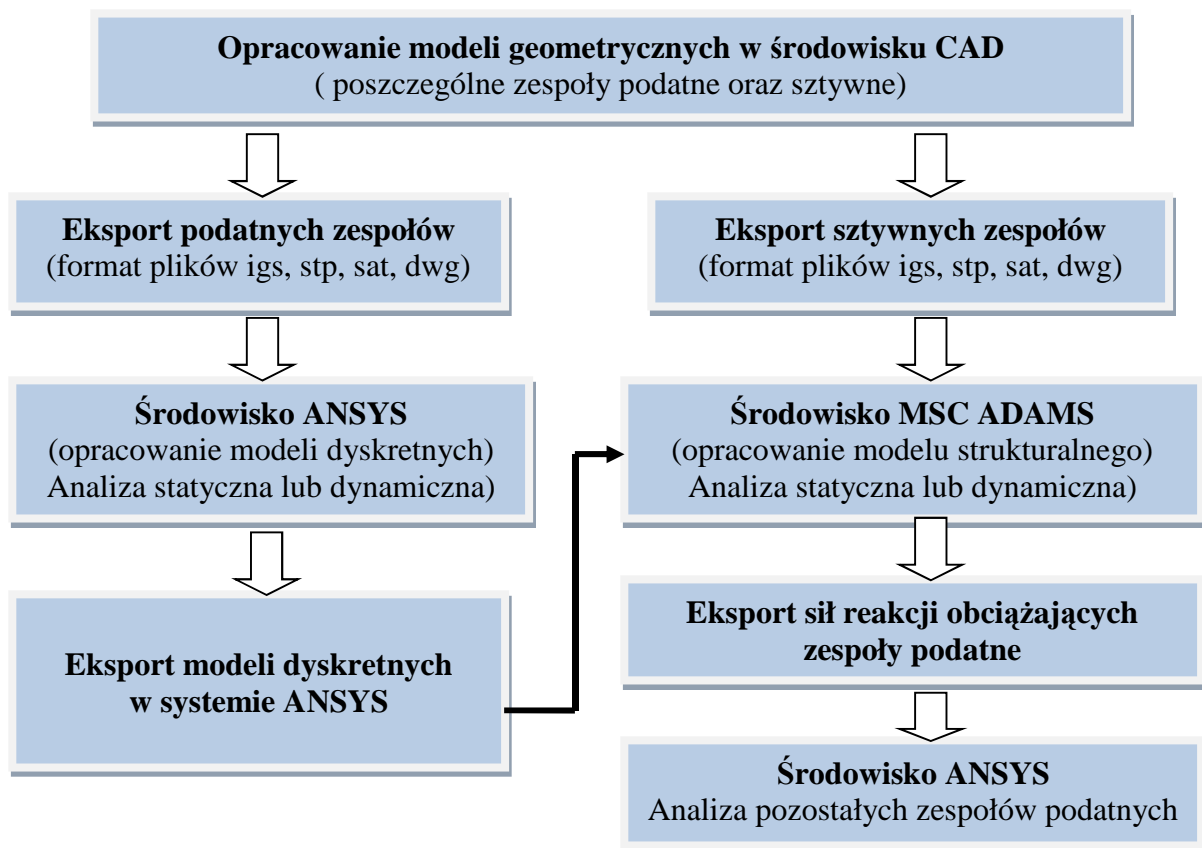
<sup>1</sup> Politechnika Śląska, Katedra Budowy Maszyn, Gliwice,  
E-mail: janusz.grzywocz@polsl.pl

rozbudowanymi są: ANSYS, ABAQUS oraz pakiet oprogramowania MSC software. Każdy z tych pakietów ma zalety jak i wady oraz jest wykorzystywany do obliczeń określonych zespołów w warunkach uwzględniających rodzaj badanej analizy w procesie projektowo-konstrukcyjnym.

W artykule przedstawiono koncepcję hybrydowej metody elementów skończonych, przy wykorzystaniu interfejsu ANSYS-ADAMS, na przykładzie badań sztywności statycznej obrabiarki KCI 210/280 NM.

## 2. INTEGRACJA ŚRODOWISK ANSYS-MSC ADAMS

Współczesne oprogramowania typu CAE posiadają interfejsy umożliwiające import/eksport danych między środowiskami. Środowisko MSC ADAMS potrafi komunikować się z programami bazującymi na metodzie elementów skończonych [1],[2],[3],[4]. Przykładami takich programów są ANSYS, MSC Nastran, ABAQUS, I-DEAS oraz MSC Marc. Idea połączenia środowisk CAE została zaprezentowana na rys. 1.



Rys. 1. Schemat przedstawiający graficzny opis idei interfejsu  
Fig. 1. The scheme showing a graphic description of the idea of the interface

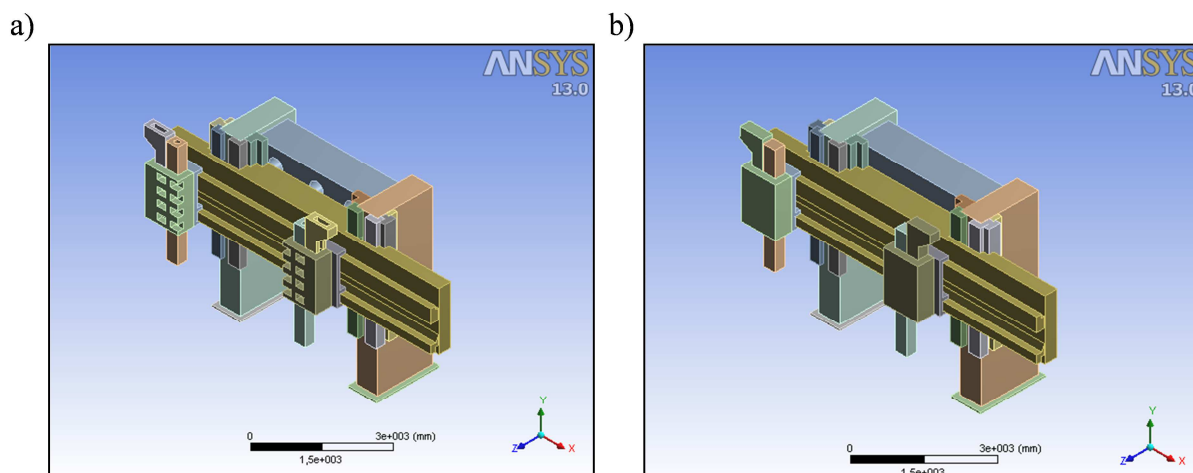
Przedstawiony wyżej interfejs pozwala wykorzystać możliwości obu środowisk, jakimi są:

- 1) **MSC Adams** – wyznaczenie przebiegów czasowych sił reakcji w poszczególnych połączeniach rozważanego układu mechanicznego (układy wielocłonowe),
- 2) **Programy MES** – zmieniające się w czasie naprężenia i odkształcenia w tych członach.

### 3. MODEL GEOMETRYCZNY OBRABIARKI

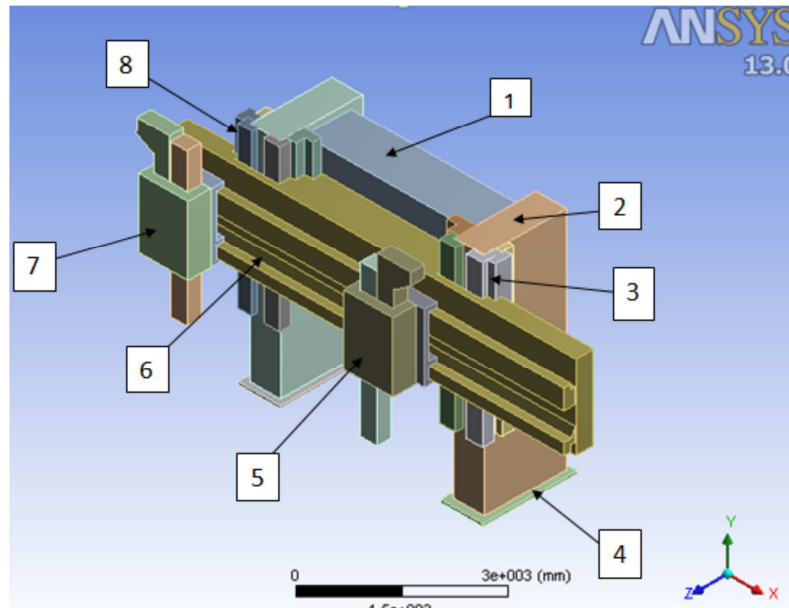
W Katedrze Budowy Maszyn Politechniki Śląskiej zamodelowano w oparciu o dokumentację konstrukcyjną model geometryczny obrabiarki wielkogabarytowej. Badaną obrabiarką jest tokarka karuzelowa KCI 210/280 NM. Model obrabiarki utworzono w systemie CATIA v5. Łączenie poszczególnych elementów było wykonywane z uwzględnieniem odpowiednich więzów dostępnych w środowisku CATIA, jak np. więzy pionowości oraz więzy poziomowości, tworząc gotowy, złożeniowy model geometryczny obrabiarki. Opracowano dwa modele tokarki, uproszczony i kompletny. Uproszczenie modelu polegało na pominięciu otworów, wyżłobień i szfzowań. Miało to na celu skrócenie czasu analizy.

W skład modelu geometrycznego (rys. 2 i rys. 3) wchodzi następujące elementy konstrukcyjne: 1 – belka wiążąca, 2 – stojak, 3 – prowadnice prawe, 4 – podstawa suwaka, 5 – suwak narzędziowy prawy, 6 – belka suportowa, 7 – suwak narzędziowy lewy, 8 – prowadnice lewe.



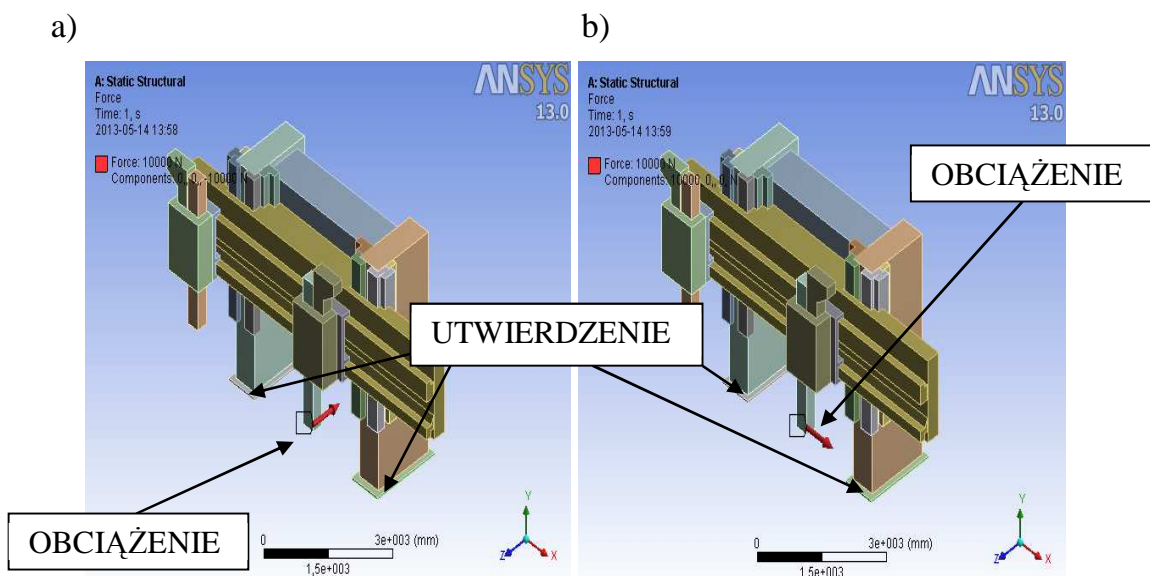
Rys. 2. Model geometryczny obrabiarki KCI 210/280 NM: a) kompletny, b) uproszczony  
Fig. 2. Geometrical model of machine tool KCI 210/280 NM: a) complete, b) simplified

Model tokarki został poddany analizie w 2 wariantach wysuwu suwaka narzędziowego oraz w dwóch kierunkach obciążenia. Badania zostały wykonane dla minimalnego oraz maksymalnego wysuwu suwaka: 250mm oraz 1200mm dla modelu uproszczonego oraz



Rys. 3. Budowa modelu geometrycznego obrabiarki  
Fig. 3. Construction of a geometric model of machine tool

modelu kompletnego. Prawy suwak został obciążony składową siłą skrawania w kierunku osi  $z$  (rys. 4a) oraz osi  $x$  (rys. 4b). Wartość siły obciążającej suwak to 10kN zarówno dla osi  $z$  oraz  $x$ . Model został utwierdzony w dwóch miejscach, na podstawach w celu odebrania sześciu stopni swobody. Wynikiem analizy jest określenie przemieszczeń w kierunkach  $z$  i  $x$ . Kolejnym krokiem było określenie wskaźników sztywności dla obu kierunków. Dodatkowo w analizie uwzględniono stopień uproszczenia modelu geometrycznego obrabiarki KCI 210/280 NM.



Rys. 4. Sposób utwierdzenia i obciążenia obrabiarki: a) wzdłuż osi  $z$ , b) wzdłuż osi  $x$   
Fig. 4. Fixed and load the machine tool: a) along the  $z$  axis, b) along the  $x$ -axis

#### 4. BADANIE SZTYWNOŚCI STATYCZNEJ OBRABIARKI (ANSYS)

System ANSYS pozwala na zastosowanie w modelowaniu sztywnych elementów. Celem wprowadzenia analiz hybrydowych, było skrócenie czasu obliczeń, co wiąże się z obniżeniem kosztów, jak i zaoszczędzeniem pamięci komputera w celu poprawy wydajności stacji roboczych na etapie projektowo-konstrukcyjnym. Na wstępie zdefiniowano, które zespoły obrabiarki będą rozpatrywane jako zespoły sztywne „RIGID”.

W następnym kroku z biblioteki systemu ANSYS wykorzystano elementy sprężysto-tłumiące w celu nadania **więzów** między poszczególnymi odkształcalnymi oraz sztywnymi zespołami obrabiarki. Istotnym etapem jest dobór współczynników sztywności i tłumienia tych elementów, w tym celu wykorzystano autorską aplikację KBM-HMES. W następnym kroku po wyznaczeniu wartości współczynników sztywności i tłumienia elementów sprężysto-tłumiących zaimplementowano ich wartości do środowiska ANSYS podając wartości otrzymane z aplikacji do biblioteki systemu ANSYS.

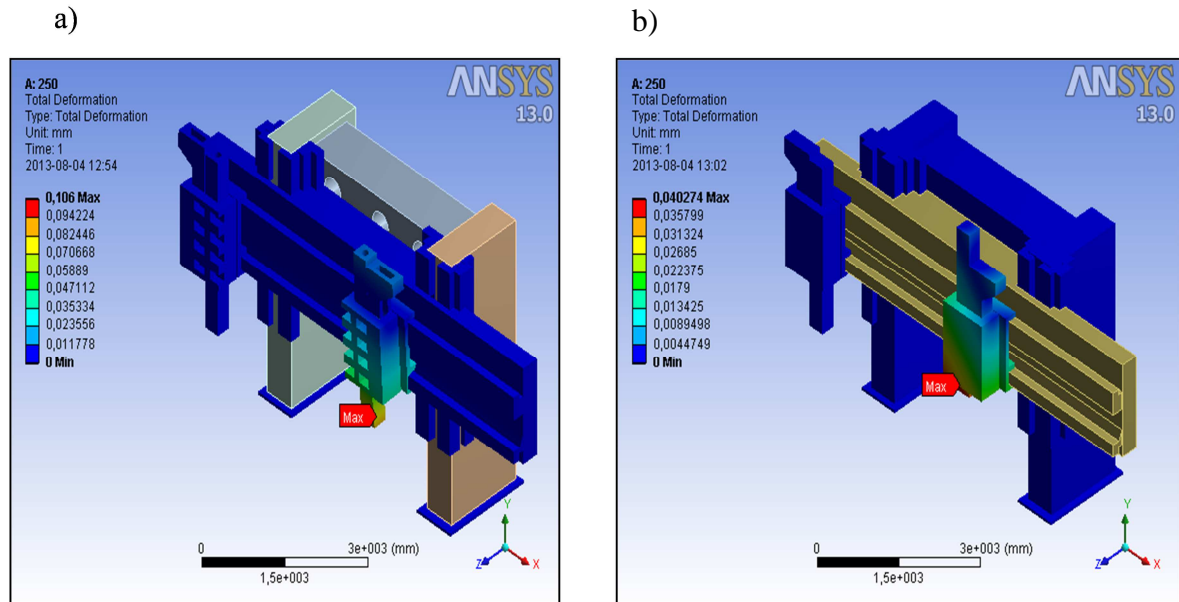
W tabeli 1 zostały przedstawione warianty modelowania obrabiarki z wykorzystaniem elementów sztywnych. Zostały one dobrane w taki sposób, aby jak najlepiej przedstawić wpływ zastosowanej metody na wyniki obliczeń i proces konstruowania obrabiarek. Dlatego pominięto takie elementy konstrukcyjne obrabiarki jak śruby napędowe, nakrętki oraz łożyska, ponieważ wg. zaleceń metody Sztywnych Elementów Skończonych (metoda SES) zaleca się dyskretyzować elementy o znacznie zwiększonej sztywności oraz większych wymiarach geometrycznych.

Tabela 1. Warianty zespołów sztywnych podczas przeprowadzanych badań  
Table 1. Variants teams as rigid during the analysis

Metoda obliczeń	Wariant	Zespół sztywny obrabiarki
HMES	I	Stojaki (lewa i prawa kolumna)
HMES	II	Korpus (stojaki + belka wiążąca)
HMES	III	Korpus + belka suportowa
HMES	IV	Korpus + prowadnice
HMES	V	Korpus + belka suportowa + suwaki narzędziowe
HMES	VI	Belka suportowa
HMES	VII	Suwak narzędziowy (prawy)
HMES	VIII	Suwaki narzędziowe (prawy + lewy)
HMES	IX	Prowadnice
HMES	X	Prowadnica prawa

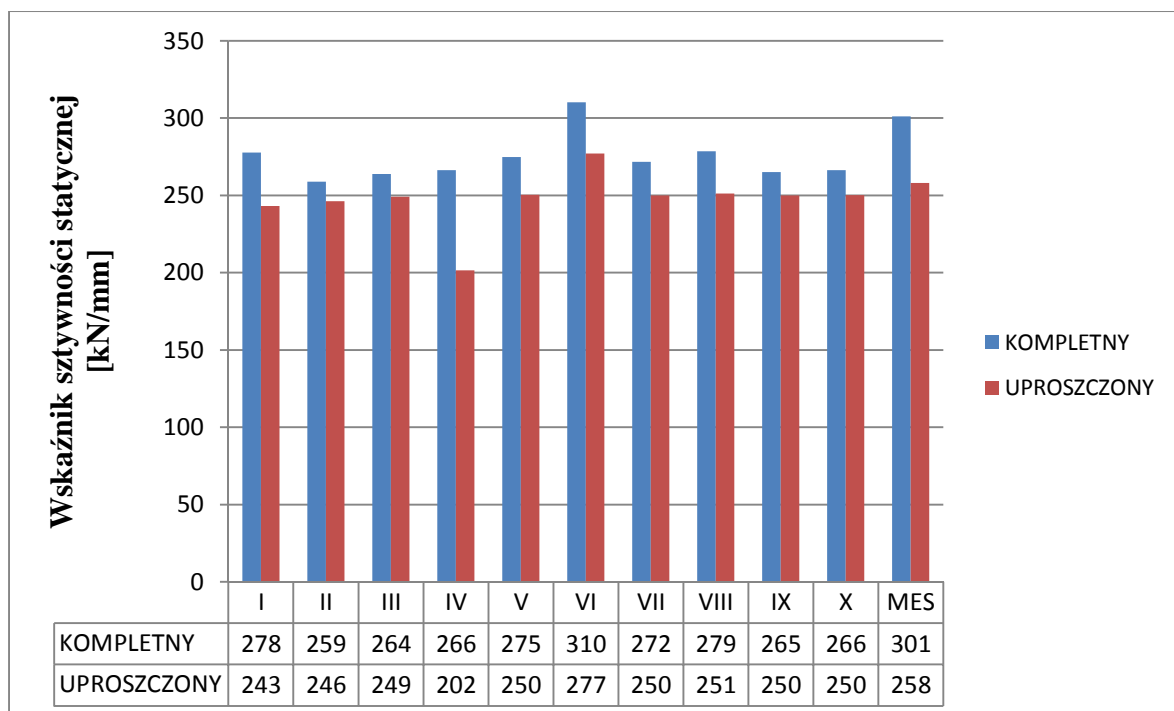
Na rys. 5 przedstawiono wybrane warianty usztywnień dla modelu uproszczonego i kompletnego, którego suwak narzędziowy jest obciążony siłą w kierunku **z**. W kolejnym etapie obliczono wskaźniki sztywności statycznej na podstawie przemieszczeń uzyskanych podczas symulacji hybrydową metodą elementów skończonych. Na rys. 6 i rys. 7

zestawiono wyniki obliczonych wskaźników sztywności statycznej dla działania siły w kierunku  $z$ , w zależności od wariantu usztywnienia, modelu i wysuwu suwaka narzędziowego.



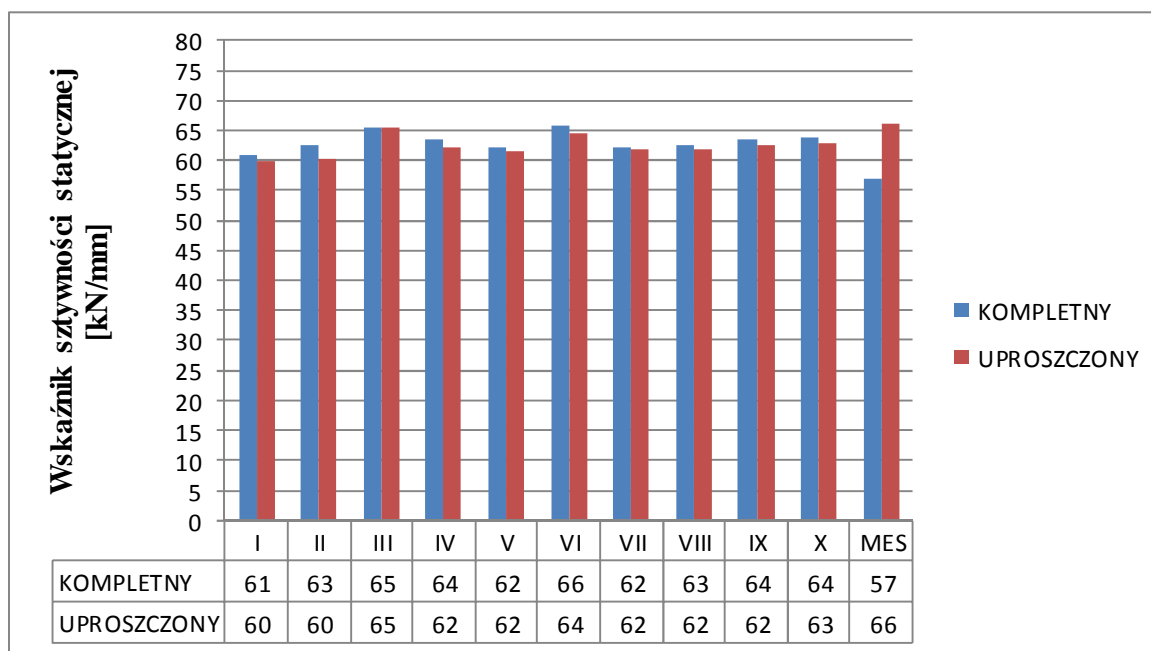
Rys. 5. Warianty symulacji HMES: a) wysuw suwaka 1200mm, model kompletny, b) wysuw suwaka 250mm, model uproszczony

Fig. 5. Variants of simulation by HFEM: a) the extension of the slider 1200mm, model complete, b) extension slide 250mm, a simplified model



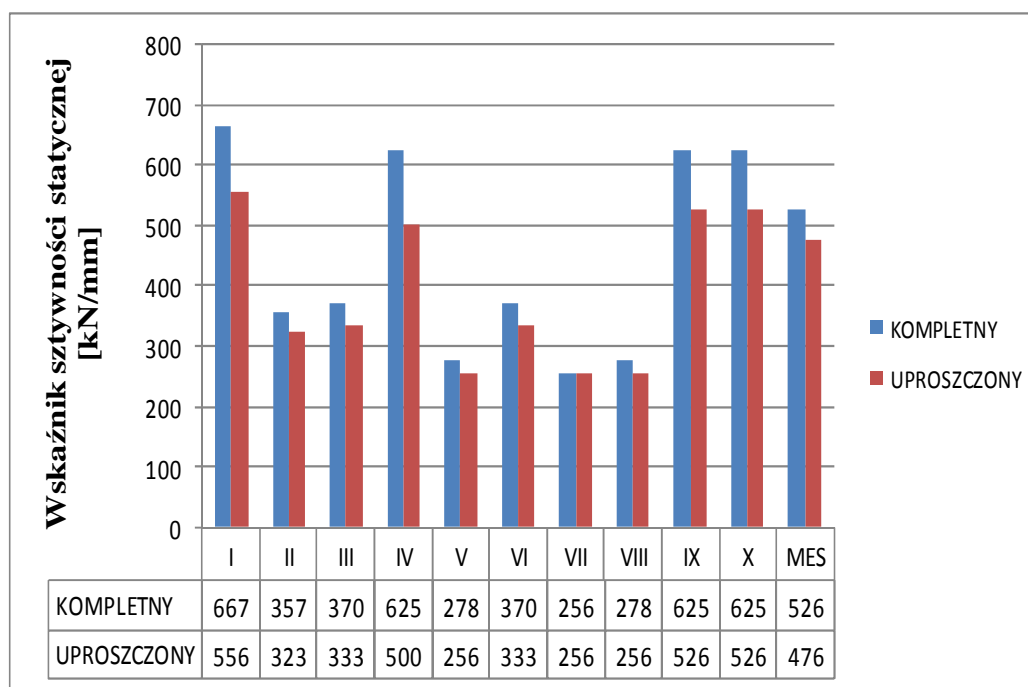
Rys. 6. Wartości wskaźników sztywności statycznej dla wysuwu 250mm

Fig. 6. Static stiffness ratio for extension 250mm

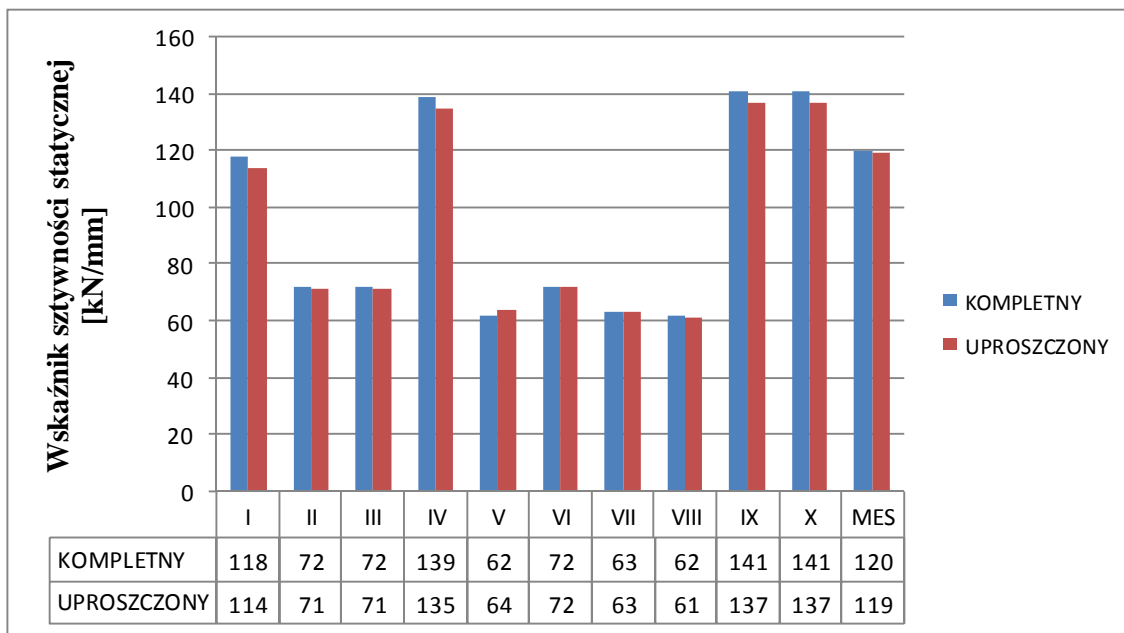


Rys. 7. Wartości wskaźników sztywności statycznej dla wysuwu 1200mm  
 Fig. 7. Static stiffness ratio for extension 1200mm

Na rys. 8 i rys. 9 przedstawiono obliczone wskaźników sztywności statycznej dla działania siły w kierunku *x*, w zależności od wariantu usztywnienia i wysuwu suwaka narzędziowego.



Rys. 8. Wartości wskaźników sztywności statycznej dla wysuwu 250mm  
 Fig. 8. Static stiffness ratio for extension 250mm



Rys. 9. Wartości wskaźników sztywności statycznej dla wysuwu 1200mm  
 Fig. 9. Static stiffness ratio for extension 1200mm

W tabeli 2 przedstawiono procentowe porównanie modelu uproszczonego z kompletnym, odnośnie otrzymanych wskaźników sztywności statycznej w hybrydowej metodzie elementów skończonych dla różnych wariantów usztywnień. Wyniki również porównano z klasyczną metodą elementów skończonych.

Tabela 2. Procentowy udział wskaźników sztywności w zależności od wariantu modelu  
 Table 2. Percentage of static stiffness ratio depending on the variant model

Wysuw suwaka	Kierunek z		Kierunek x	
	250	1200	250	1200
<b>I</b>	87%	98%	83%	97%
<b>II</b>	95%	95%	90%	98%
<b>III</b>	94%	100%	90%	98%
<b>IV</b>	76%	97%	80%	97%
<b>V</b>	91%	100%	92%	97%
<b>VI</b>	89%	97%	90%	100%
<b>VII</b>	92%	100%	100%	100%
<b>VIII</b>	90%	98%	92%	98%
<b>IX</b>	94%	97%	84%	97%
<b>X</b>	94%	98%	84%	97%
<b>MES</b>	86%	86%	90%	99%

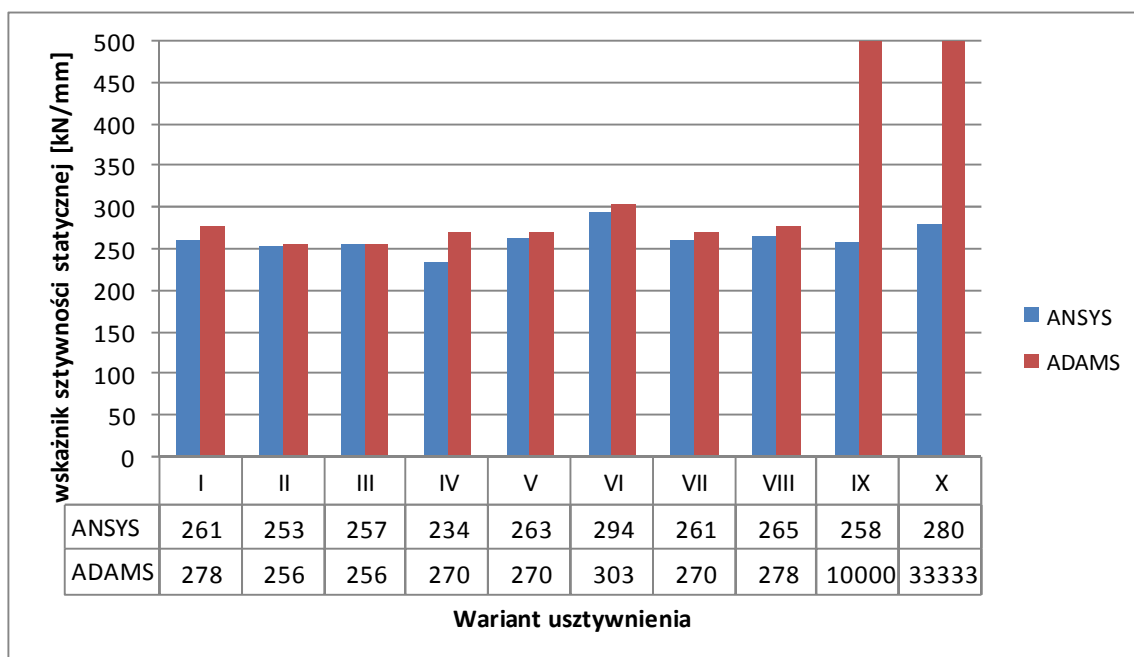


## 5. BADANIE SZTYWNOŚCI STATYCZNEJ OBRABIARKI (ADAMS)

Analiza została przeprowadzona, tak jak poprzednio, dla modelu obciążonego siłą działającą w dwóch kierunkach (z, x). Badania sztywności statycznej przeprowadzono dla modelu kompletnego. W tabeli 3 zestawiono wartości współczynników sztywności elementów EST. W każdym wariantie sztywnych zespołów obrabiarki określano 9 elementów EST.

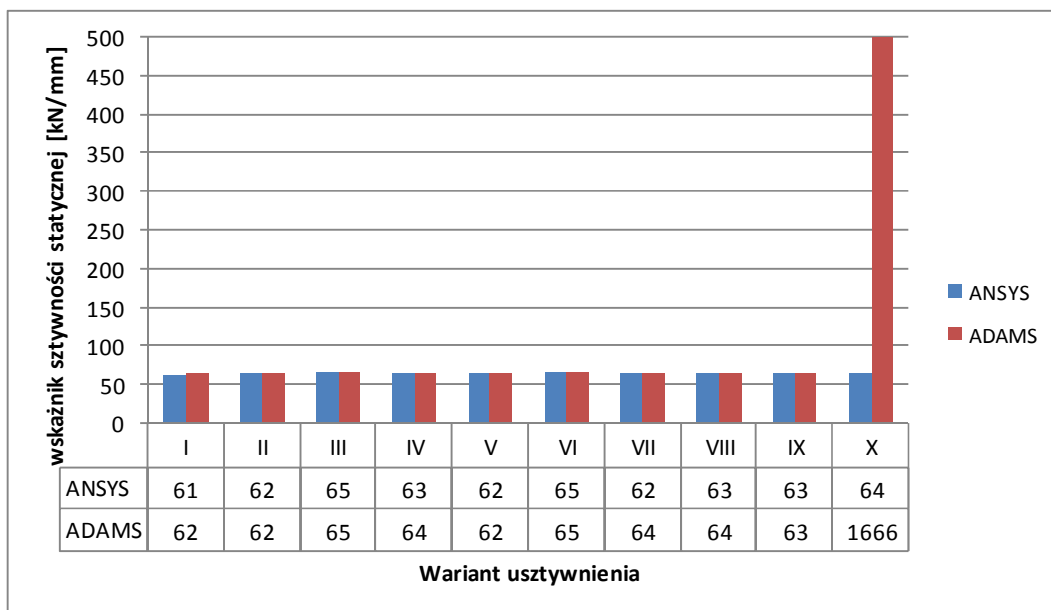
Tabela 3. Parametry elementów sprężysto tłumiących w środowisku ADAMS  
Table 3. Parameters of elastic damping elements in the environment of ADAMS

Element sprężysto - tłumiący EST	Współczynnik sztywności [N/mm]
1	290000
2	300000
3	300000
4	18000
5	18000
6	30000
7	110000
8	289000
9	300000

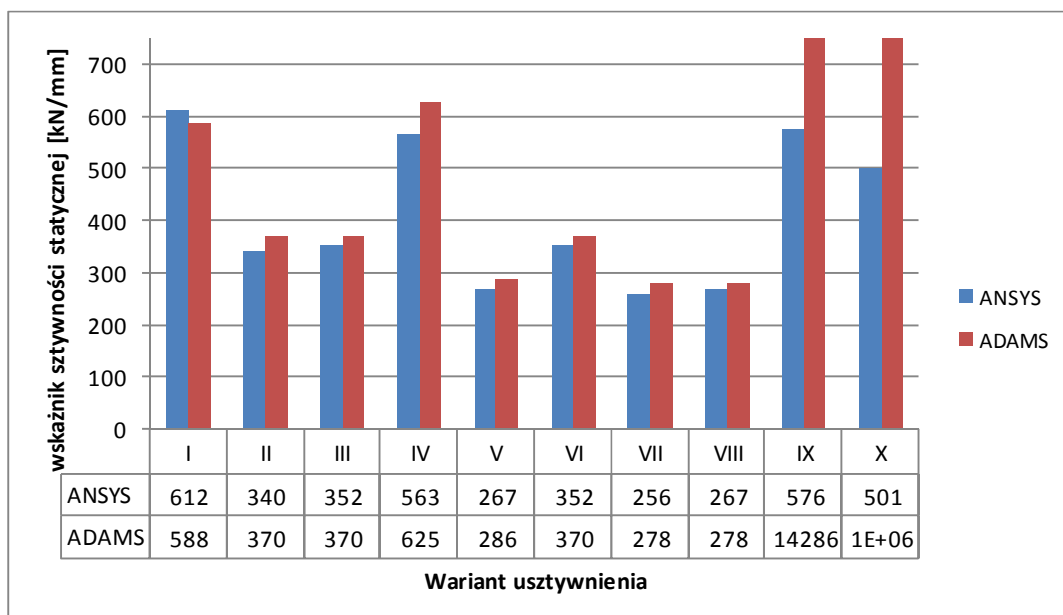


Rys. 10. Wskaźniki sztywności statycznej dla wysuwu suwaka narzędziowego 250mm w kierunku z  
Fig. 10. Static stiffness ratio for extension 250mm in direction z

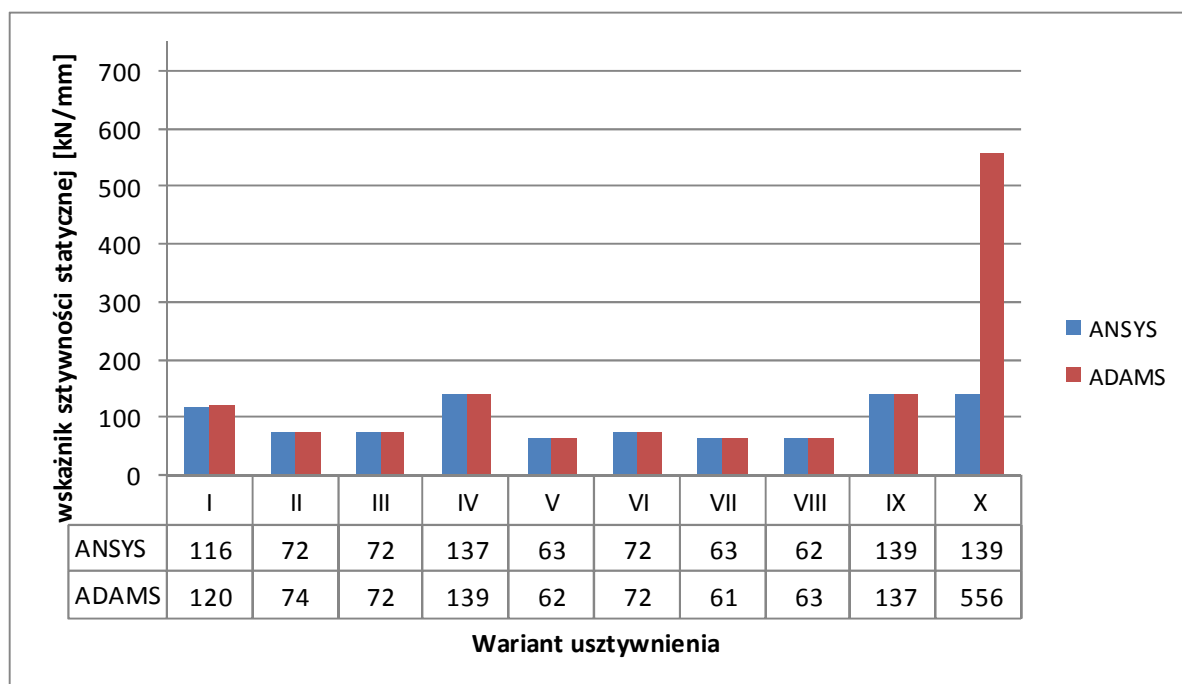
Takie arbitralne założenie zrobiono w celu zamodelowania dowolnej konfiguracji elementów EST w środowisku ADAMS. Każdy element EST został dobrany przy wykorzystaniu autorskiej aplikacji i umieszczony między sztywnymi a podatnymi zespołami w ich środkach ciężkości. W badaniach pominięto wartości współczynników tłumienia elementów EST, ponieważ nie wpływają one na badania sztywności statycznej. Na rys.11–13 zestawiono wyniki obliczeń dla różnych sposobów traktowania zespołów sztywnych, zarówno w środowisku ANSYS, jak i w środowisku ADAMS.



Rys. 11. Wskaźniki sztywności statycznej dla wysuwu suwaka narzędziowego 1200mm w kierunku z  
Fig. 11. Static stiffness ratio for extension 1200mm in direction z



Rys. 12. Wskaźniki sztywności statycznej dla wysuwu suwaka narzędziowego 250mm w kierunku x  
Fig. 12. Static stiffness ratio for extension 250mm in direction x



Rys. 13. Wskaźniki sztywności statycznej dla wysuwu suwaka narzędziowego 1200mm w kierunku x  
 Fig. 13. Static stiffness ratio for extension 1200mm in direction x

Z kolei w tabeli 4 zamieszczono uzyskane wyniki w zestawieniu procentowym dla wskaźników sztywności statycznej, w zależności od różnych wysuwów suwaka narzędziowego obciążonego składową siłą skrawania w kierunkach z i x. Celem analizy była ocena zgodności otrzymanych wyników z wykorzystaniem interfejsu ANSYS – ADAMS.

Tabela 4. Zestawienie procentowe otrzymanych wyników  
 Table 4. Summary of percentages of the results

Wysuw suwaka	Kierunek z		Kierunek x	
	250	1200	250	1200
<b>I</b>	94%	96%	99%	97%
<b>II</b>	99%	92%	100%	97%
<b>III</b>	100%	95%	100%	100%
<b>IV</b>	87%	90%	98%	99%
<b>V</b>	97%	93%	100%	98%
<b>VI</b>	97%	95%	100%	100%
<b>VII</b>	97%	92%	97%	97%
<b>VIII</b>	95%	96%	98%	98%
<b>IX</b>	0,026%	0,04%	100%	99%
<b>X</b>	0,084%	0,05%	0,038%	25%

## 6. PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonych badań wynikają następujące wnioski:

- na podstawie przeprowadzonych analiz można stwierdzić, że dyskretyzowane, wg. zaleceń metody SES, powinny być te zespoły obrabiarki, które mają znacząco wyższą sztywność od pozostałych zespołów, np. korpusy obrabiarek. Przykładowo w badaniach dla wariantu IX i X otrzymano bardzo dużą zbieżność wyników, dlatego nie zaleca się traktować jako zespoły sztywne elementów o znacznie mniejszej sztywności np. prowadnice obrabiarek,

- wpływ na otrzymane wyniki ma odwzorowanie modelu geometrycznego obrabiarki w formie uproszczonej. Wartości wskaźników sztywności otrzymano porównywalne zarówno dla modelu kompletnego, jak i uproszczonego. Największe różnice w wartościach wskaźników sztywności statycznej otrzymano dla wysuwu suwaka narzędziowego 250mm. Jest to spowodowane znacznym udziałem sztywności stykowej suwaka narzędziowego z prowadnicą. Zatem korzystne jest, w tym przypadku, odwzorowanie modelu geometrycznego obrabiarki KCI 210/280 NM w formie uproszczonej,

- w badaniach sztywności statycznej, aby uzyskać poprawne wyniki należy tak modelować elementy EST, aby ich rozmieszczenie znajdowało się w środkach ciężkości poszczególnych elementów obrabiarki. Kolejnym bardzo istotnym aspektem jest odpowiedni dobór współczynnika sztywności elementu EST,

- podsumowując część pracy dotyczącą analiz, za pomocą hybrydowej metody elementów skończonych, w programie ANSYS (tabela 2) otrzymano porównywalne wartości wskaźników sztywności dla różnych konfiguracji wysuwów suwaka obrabiarki. Porównując MES z HMES można zaobserwować, iż wyniki otrzymane w obydwu metodach są bardzo podobne. Obydwie metody mogą się wzajemnie uzupełniać,

- otrzymane wartości wskaźników sztywności statycznej przy wykorzystaniu interfejsu ANSYS–ADAMS mają bardzo zbliżone wartości. Zgodność wyników dla wariantów I - VIII wynosi ponad 85%, co jest znakomitym wynikiem. Z powyższego porównania wynika, iż można dokonywać obliczeń równoległych w dwóch różnych programach, gdyż otrzymane wyniki są porównywalne. Hybrydowe wykorzystanie środowisk CAE znacznie zwiększyło możliwości przeprowadzania badań symulacyjnych, a przy wykorzystaniu autorskiej aplikacji można poprawić efektywność pracy na etapie projektowo-konstrukcyjnym.

*Badania wykonano w ramach projektu DoktoRIS – Program stypendialny na rzecz innowacyjnego Śląska, współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.*



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Śląskie.  
Pozytywna energia



UNIwersytet ŚLĄSKI  
W KATOWICACH

UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



## LITERATURA

- [1] GANCARCZYK T., HARLECKI A., 2008, *Wykorzystanie interfejsu programu MSC ADAMS i programów MES w obliczeniach inżynierskich*, Przegląd Mechaniczny, 5, 50-53.
- [2] HARLECKI A., KUBAS K., ZAJAC K., 2007, *Applying the MSC.ADAMS ANSYS interface to analyse dynamics of mobile cranes*. Proc. of 48th International Conference of Machine Elements and Mechanisms Departments, Bratislava-Smolenice.
- [3] KRUSZEWSKI J., SAWIAK S., WITTBRODT E., 1999, *Wspomaganie komputerowe CAD/CAM*. WNT, Warszawa.
- [4] ŁACZEK S., 2001, *Modelowanie i analiza konstrukcji w systemie MES-ANSYS v.11*, PK, Kraków.
- [5] ŚLIWKA J., KAŻMIERCZAK M., 2012, *Badania sztywności statycznej obrabiarek ciężkich w warunkach przemysłowych*, II Międzynarodowa Konferencja Innowacyjne Technologie Wytwarzania, Kraków, 541-554, ISBN 978-83-931239-6.
- [6] ŚLIWKA J., KAŻMIERCZAK M., 2011, *Analiza porównawcza metod wyznaczania sztywności statycznej obrabiarek*, Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, Budowa Maszyn i Zarządzanie Produkcją, 15, Poznań, ISSN 1733-1919, 155-171.

## SOLVING GROUPS OF MACHINE TOOL IN AN INTEGRATED SYSTEM OF ANSYS AND ADAMS

The article presents a analysis of the static stiffness machine tool KCI 210/280 NM in integrated environments ANSYS and ADAMS. Solution made in the convention by hybrid finite element method by treating the individual parts machine tool as deformable and rigid. With the integration of CAE can be implemented testing static stiffness in the convention HFEM. Then shows how the discretization of the geometrical model takes into account the appropriate machine tool kinematic constraints and rigid and deformable parts of machine. An important step is the selection of parameters of stiffness and damping elements so used own application KBM-HFEM in order to determine their value and implement the environment ANSYS-ADAMS . In the next stage of the simulation study was performed for the minimal and maximum static stiffness withdrawal arrangement machine tool slide. The final step is to compare the results obtained in environments ANSYS and ADAMS.

Keywords: *machine tool, static stiffness, modelling, CAD, simulation, FEM*