

# OPRACOWANIE KONCEPCJI ORAZ PROGRAMÓW PILOTOWYCH OPTYMALIZACJI SZTYWNOŚCI ZAMOCOWANIA PRZEDMIOTU OBRABIANEGO

KRZYSZTOF J. KALIŃSKI<sup>1</sup>, BARTŁOMIEJ BONDARCZUK<sup>2</sup>,

<sup>1,2</sup>*Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny*

*Katedra Mechaniki i Mechatroniki*

*Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk*

SŁOWA KLUCZOWE: NADZOROWANIE DRGAŃ, SAMOWZBUDNE  
DRGANIA CHATTER, SKRAWANIE, MAPA SZTYWNOŚCI.

## STRESZCZENIE

Artykuł ma na celu przedstawienie metody minimalizacji drgań podczas obróbki przedmiotów wielkogabarytowych bez konieczności sterowania w trybie on-line kinematycznymi parametrami skrawania w trakcie obróbki. Wykorzystuje do tego różne współczynniki sztywności zamocowania przedmiotu obrabianego przez lokalizację sprężystych elementów mocujących o znanej sztywności w określonych miejscach.

### 1. Wstęp

Metodyka niniejszego opracowania, bazuje na wykorzystaniu technik projektowania mechatronicznego [1], które były sukcesywnie rozwijane w pracach zespołu projektowego, w zakresie frezowania szybkościowego przedmiotów podatnych [2].

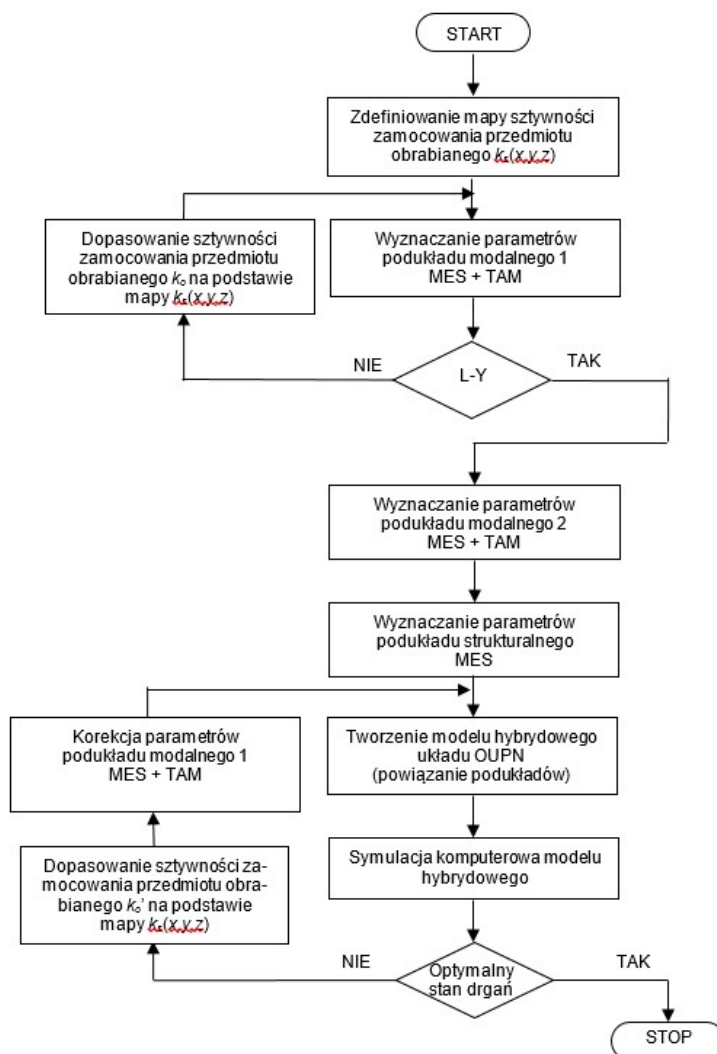
### 2. Opracowanie metody optymalizacji sztywności zamocowania przedmiotu obrabianego z uwagi na minimalizację poziomu drgań narzędzie-przedmiot obrabiany

Metoda ma na celu minimalizację poziomu drgań narzędzie-przedmiot obrabiany, bez konieczności sterowania w trybie *on-line* kinematycznymi parametrami skrawania w trakcie obróbki. Inspiracją stały się obiecujące wyniki dotychczasowych badań nad uchwytem mocującym frezowane przedmioty podatne, o regulowanej w trybie *off-line* sztywności

zamocowania[3]. Wówczas, optymalizacja sztywności zamocowania przedmiotu obrabianego polega na dopasowaniu częstotliwości i postaci drgań własnych układu OUPN tak, aby dla zadanej wartości prędkości obrotowej wrzeciona oraz prędkości posuwu przedmiotu obrabianego albo narzędzia, był spełniony warunek L-Y. Zaletą proponowanego podejścia jest niezmiennosc parametrów kinematycznych procesu (prędkości obrotowej, prędkości posuwu), a ustawianie sztywności zamocowania przedmiotu można zrealizować w trybie *off-line*, przed rozpoczęciem procesu.

W przypadku obróbki przedmiotów wielkogabarytowych, budowa specjalnego uchwytu o regulowanej sztywności zamocowania jest nieuzasadniona z praktycznego punktu widzenia. Natomiast różne współczynniki sztywności zamocowania przedmiotu obrabianego można uzyskać poprzez lokalizację sprężystych elementów mocujących o znanej sztywności, w określonych miejscach mocowania przedmiotu. W tym celu należy zdefiniować mapę sztywności zamocowania, tj. przyporządkować wartości współczynników sztywności  $k_s$  współrzędnym  $x, y, z$  opisującym położenie elementu mocującego przedmiot ( $k_s(x, y, z)$ ), a następnie – wybrać wartość  $k_o$  tak, aby był spełniony warunek L-Y. Na etapie Wirtualnego Prototypowania zdefiniowanie mapy sztywności zamocowania przedmiotu obrabianego polega na szacowaniu wartości tych współczynników.

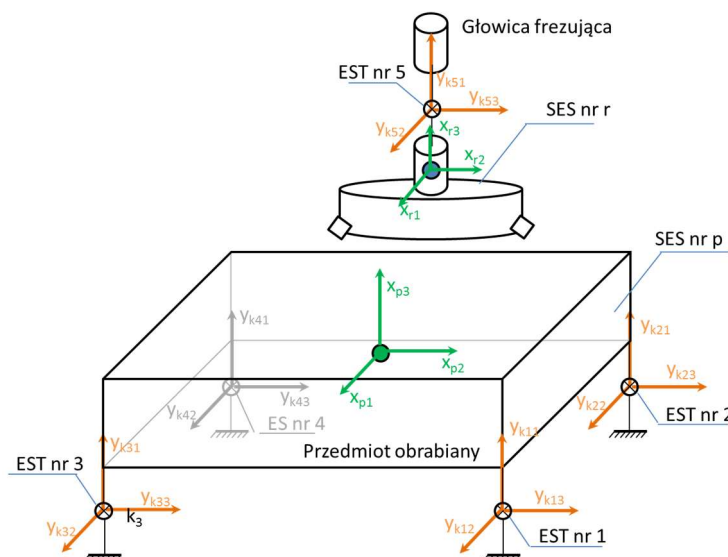
Schemat nadzorowania procesu skrawania przedmiotów wielkogabarytowych ilustruje rys. 1. W przypadku obróbki takich przedmiotów należy uwzględnić własności dynamiczne obrabiarki i procesu skrawania, jak również – zmienną konfigurację układu, spowodowaną zmianą w czasie położenia narzędzia i przedmiotu. Natomiast proces dopasowania sztywności zamocowania przedmiotu  $k_o$  należy powtarzać, aż do momentu uzyskania optymalnego stanu drgań.



Rys. 1. Nadzorowanie procesu skrawania przedmiotów wielkogabarytowych z wykorzystaniem optymalizacji sztywności zamocowania przedmiotu obrabianego oraz techniki W

### 3. Opracowanie modelu obliczeniowego przedmiotu obrabianego do pilotowego programu symulacji komputerowej nadzorowania procesu frezowania czółowego

W celu przeprowadzenia symulacji drgań utworzono model dyskretny układu przedmiot obrabiany – głowica frezująca w konwencji metody sztywnych elementów skończonych (SES) (rys. 2).



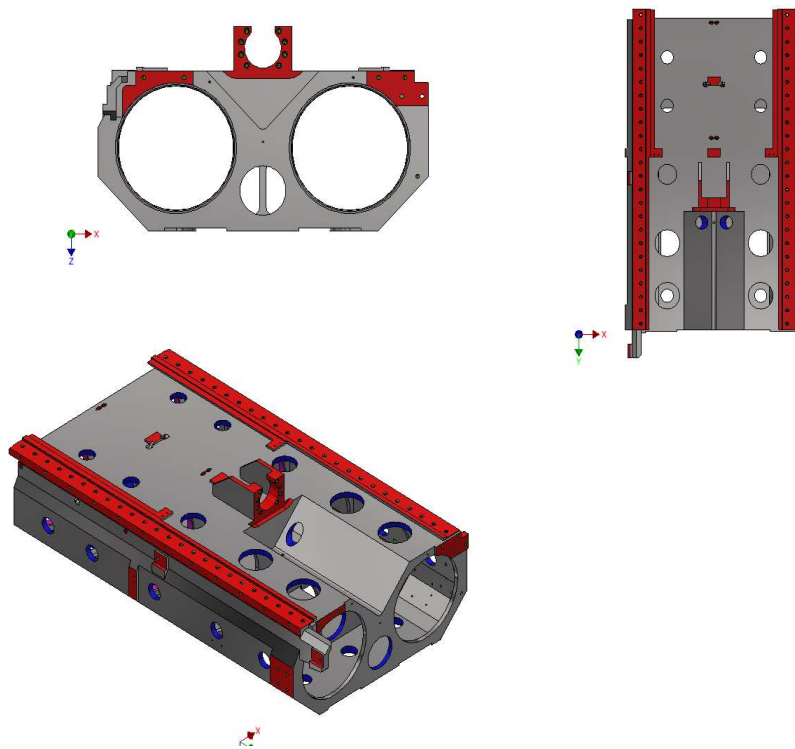
Rys. 2. Model dyskretny układu przedmiot obrabiany – głowica frezująca w konwekcji metody sztywnych elementów skończonych

Przemieszczenia uogólnione środka masy SES nr  $r$  oraz SES nr  $p$  opisano w lokalnych układach współrzędnych  $x_{r1}, x_{r2}, x_{r3}$  (główne centralne osie bezwładności SES nr  $r$ ) oraz  $x_{p1}, x_{p2}, x_{p3}$  (główne centralne osie bezwładności SES nr  $p$ ). Odształcenia elementów sprężysto-tłumiących (EST) zdefiniowano odpowiednio w lokalnych układach głównych osi sztywności  $y_{k11}, y_{k12}, y_{k13}$  EST nr 1,  $y_{k21}, y_{k22}, y_{k23}$  EST nr 2,  $y_{k31}, y_{k32}, y_{k33}$  EST nr 3,  $y_{k41}, y_{k42}, y_{k43}$  EST nr 4,  $y_{k51}, y_{k52}, y_{k53}$  EST nr 5.

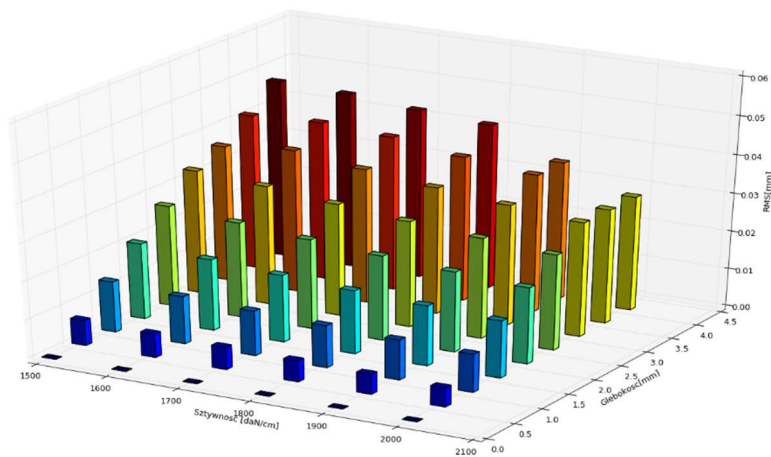
Jako testowy przedmiot obrabiano przyjęto część nr 440424, pochodzącą ze standardowego programu produkcyjnego PHS HYDROTOR S.A. Przedstawiono ją na rys. 3.

#### 4. Ocena symulowanych drgań przedmiotu obrabianego podczas frezowania czołowego z wykorzystaniem zmiany współczynników sztywności zamocowania przedmiotu

Przeprowadzono symulację drgań przedmiotu obrabianego podczas frezowania czołowego z wykorzystaniem zmiany współczynników sztywności zamocowania przedmiotu, dla wartości parametrów podanych w tab. 1. Do symulacji wykorzystano pilotowy zestaw oprogramowania. Zbiorcze zestawienie uzyskanych RMS, dla różnych kombinacji współczynników sztywności oraz głębokości skrawania, przedstawiono na rys. 4.



Rys. 3. Przedmiot obrabiany 440424 z zaznaczonymi powierzchniami do frezowania

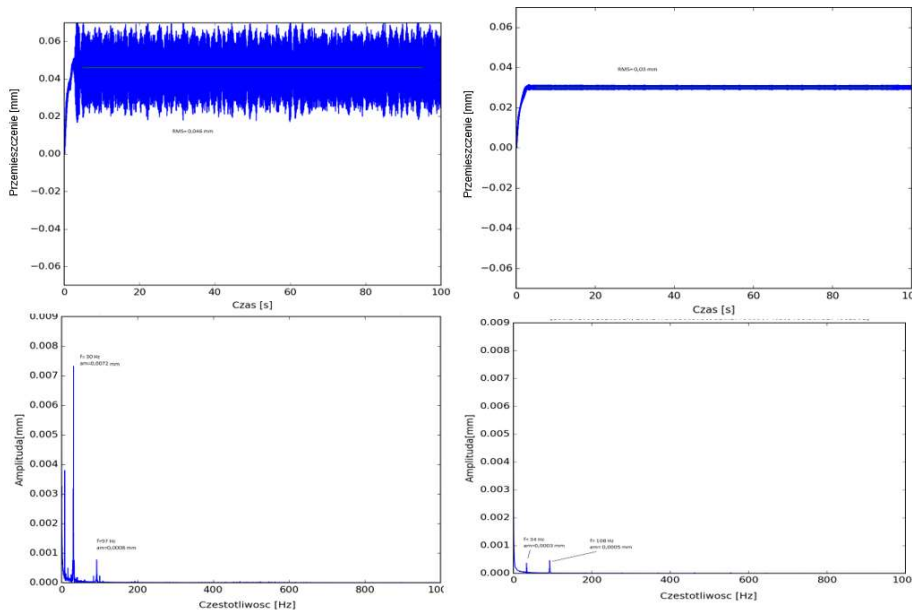


Rys. 4. Wartości *RMS* przemieszczeń przedmiotu obrabianego w kierunku osi *x* w zależności od współczynnika sztywności zamocowania przedmiotu  $k_1$  i głębokości skrawania  $a_p$

Tabela 1. Parametry obróbki skrawaniem oraz modelu obliczeniowego przedmiotu obrabianego dla różnych współczynników sztywności zamocowania przedmiotu

Nazwa	Oznaczenie	Wartość	Jednostka
Czas trwania procesu	$t$	100	s
Liczba ostrzy	$z$	5	
Posuw na ostrze	$f_z$	0.09	mm
Prędkość obrotowa wrzeciona	$n_0$	1111	obr/min
Szerokości frezowania	$B_1, B_2$	30	mm
Średnica freza	$D$	63	mm
Głębokość skrawania	$a_p$	0.5 – 4 co 0.5	mm
Długość śladu (ścieżki narzędzia)	$l_d$	833	mm
Prędkość posuwu	$v_f$	$v_f = n_0 f_z z$	mm/min
Dynamiczny opór skrawania powierzchniowy właściwy	$k_{dl}$	300	daN/mm <sup>2</sup>
Współczynnik posuwowej siły skrawania	$\mu_{l2}$	0.3	-
Współczynnik odporowej siły skrawania	$\mu_{l3}$	0.2	-
Współczynnik sztywności zamocowania przedmiotu obrabianego w kierunku $y_{k1}$	$k_1$	1500 – 2000 co 100	N/mm
Współczynnik sztywności zamocowania przedmiotu obrabianego w kierunku $y_{k2}$	$k_2$	15000 – 20000 co 1000	N/mm
Współczynnik sztywności zamocowania przedmiotu obrabianego w kierunku $y_{k3}$	$k_3$	15000 – 20000 co 1000	N/mm

Wyniki symulacji drgań przedmiotu obrabianego w kierunku osi  $x_3$  dla wybranych parametrów:



Rys. 5 Po lewej stronie: przebiegi czasowe przemieszczeń oraz widma amplitudowe przemieszczeń przedmiotu obrabianego w kierunku osi  $x_3$ ,  $n_0 = 1111$  obr/min,  $a_p = 4$  mm,  $k_1 = 1600$  N/mm,  $k_2 = 16000$  N/mm,  $k_3 = 16000$  N/mm;  
 Po prawej stronie: przebiegi czasowe przemieszczeń oraz widma amplitudowe przemieszczeń przedmiotu obrabianego w kierunku osi  $x_3$ ,  $n_0 = 1111$  obr/min,  $a_p = 4$  mm,  $k_1 = 2000$  N/mm,  $k_2 = 20000$  N/mm,  $k_3 = 20000$  N/mm

Na podstawie otrzymanych wyników symulacji (rys. 5) można stwierdzić, że wybrana spośród policzalnego zbioru wartości kombinacja optymalnych współczynników sztywności zamocowania przedmiotu, z uwagi na minimalną wartość *RMS* (najniższy poziom drgań) i maksymalną wartość  $a_p = 4$  mm (największa wydajność obróbki), wynosi:  $k_1 = 2000$  N/mm,  $k_2 = 20000$  N/mm,  $k_3 = 20000$  N/mm.

### Bibliografia

1. Petko M.: Wybrane metody projektowania mechatronicznego. Radom: Wyd. Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji 2008.
2. Kaliński K. J., Galewski M. A.: Vibration Surveillance Supported by Hardware-In-the-Loop Simulation in Milling of Flexible Workpieces. *Mechatronics* 2014, 24, 1071-1082.
3. Kaliński K. J., Chodnicki M., Mazur M. R., Galewski M. A.: Vibration Surveillance System with Variable Stiffness Holder for Milling Flexible Details. W: *Applied Non-Linear Dynamical Systems*. Ed. J. Awrejcewicz. Springer International Publishing Switzerland 2014, 175-184.

