

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

Nowoczesna obróbka mechaniczna stopów magnezu i aluminium

Modern mechanical working of magnesium and aluminium alloys

Politechnika Lubelska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Warszawska

Wyniki badań Results

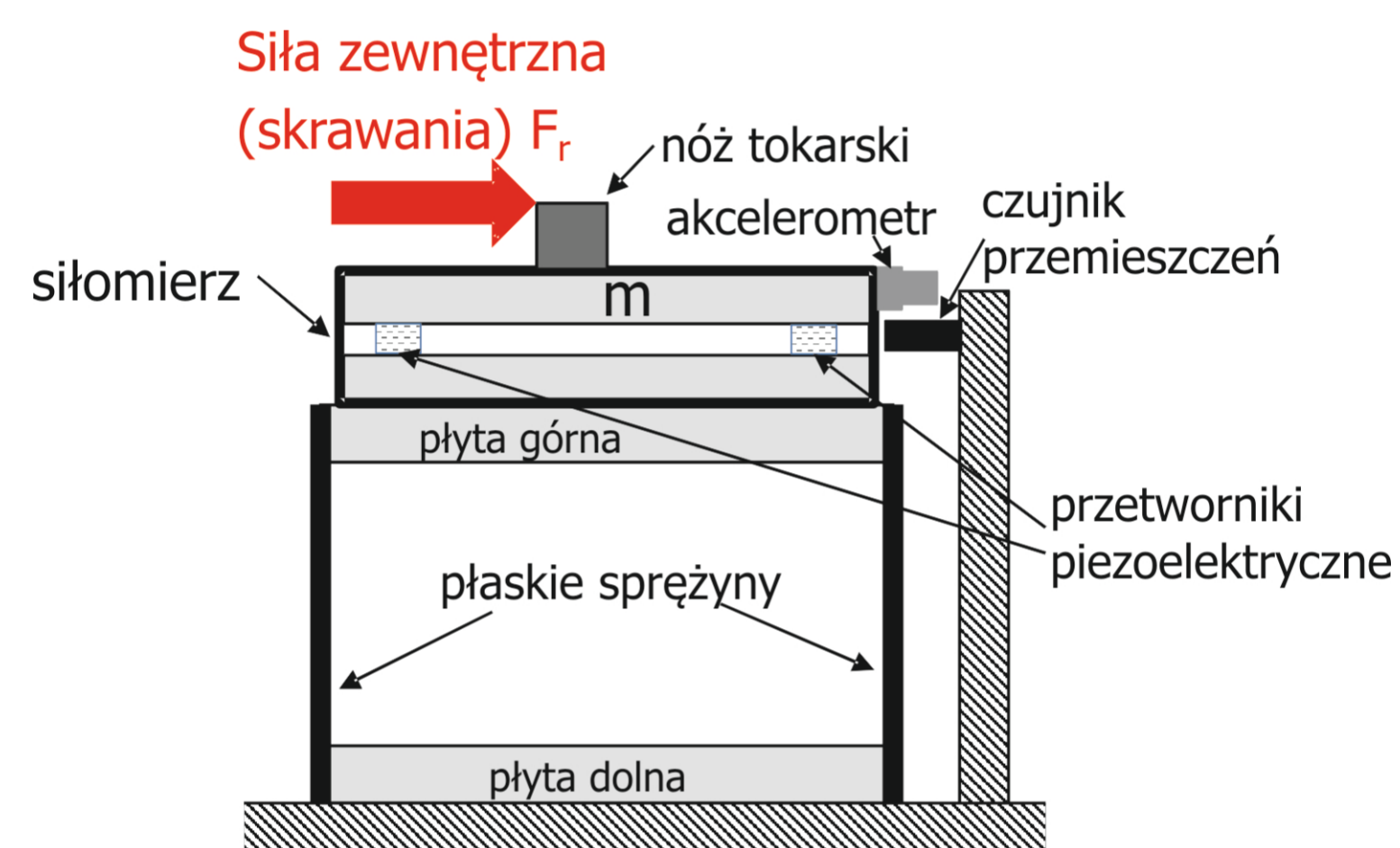
Doświadczalna metoda wyznaczania dynamicznych współczynników sił skrawania

W celu opracowania metody doświadczalnego wyznaczania dynamicznych współczynników sił skrawania zaprojektowano, opatentowano i zbudowano innowacyjną konstrukcję stanowiska badawczego. W ramach pracy przeprowadzono serię pomiarów dla różnych parametrów skrawanej płytki z węglików spiekanych. Dla otrzymanych wyników wyznaczono dynamiczne współczynniki siły skrawania celem weryfikacji opracowanej metody.

Experimental method for determination of dynamic cutting force coefficients

In order to develop a method of experimental determination of dynamic cutting force coefficients an innovative test bench was designed, patented and built. The methodology was applied to measurements for different cutting parameters for cutting with carbide insert. From the obtained experimental results the cutting force coefficients have been calculated to verify the new methodology.

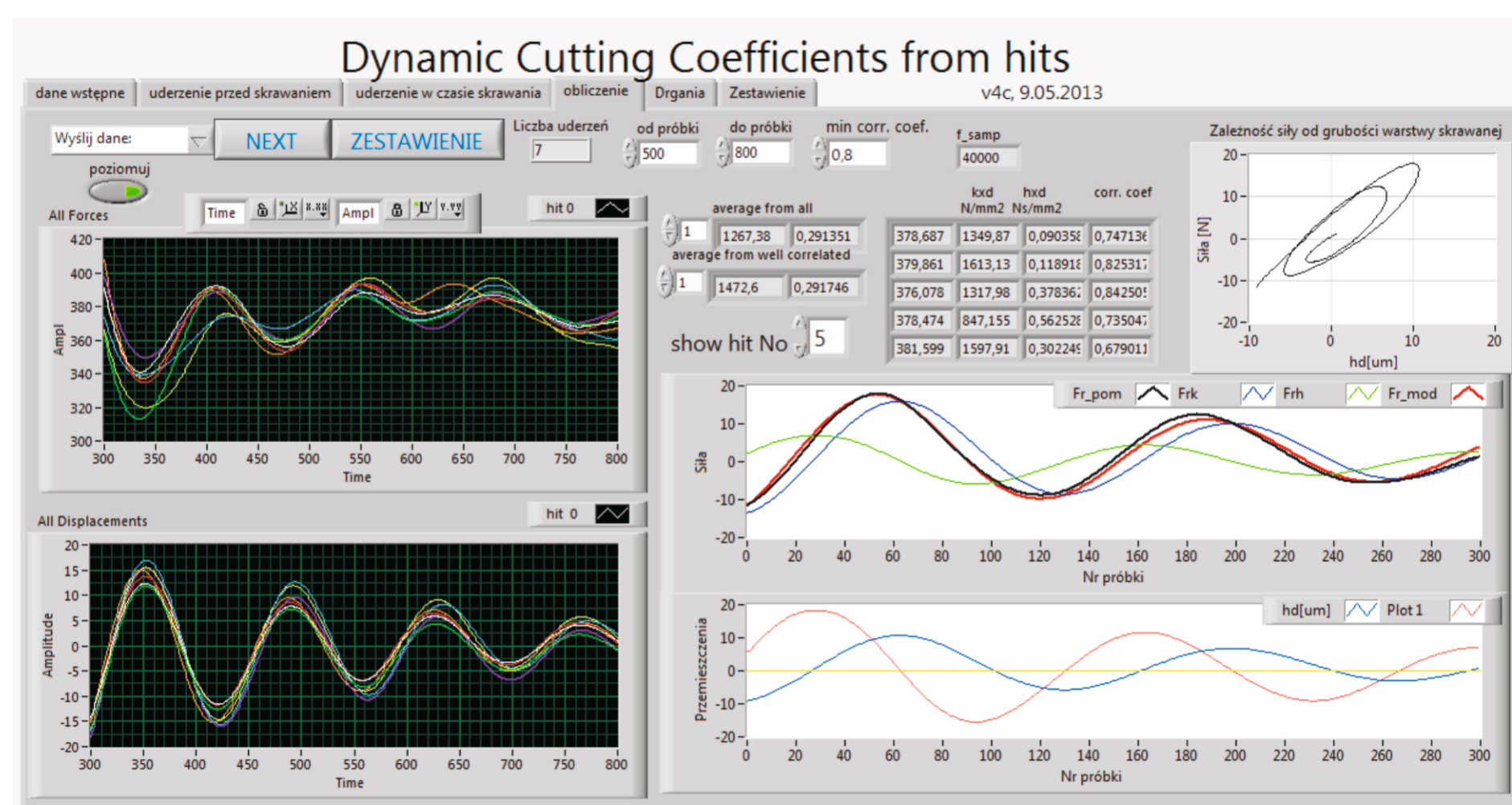
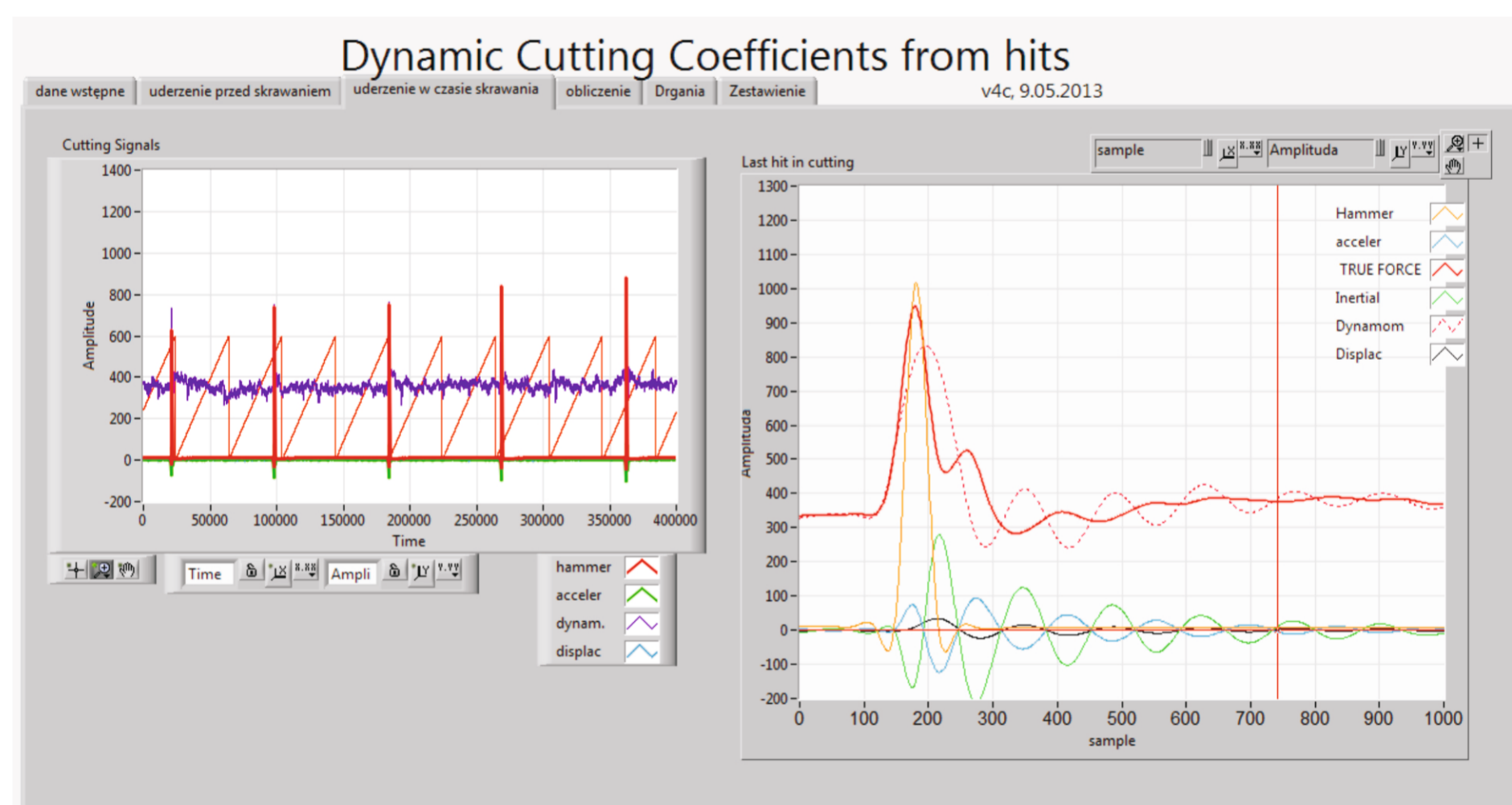
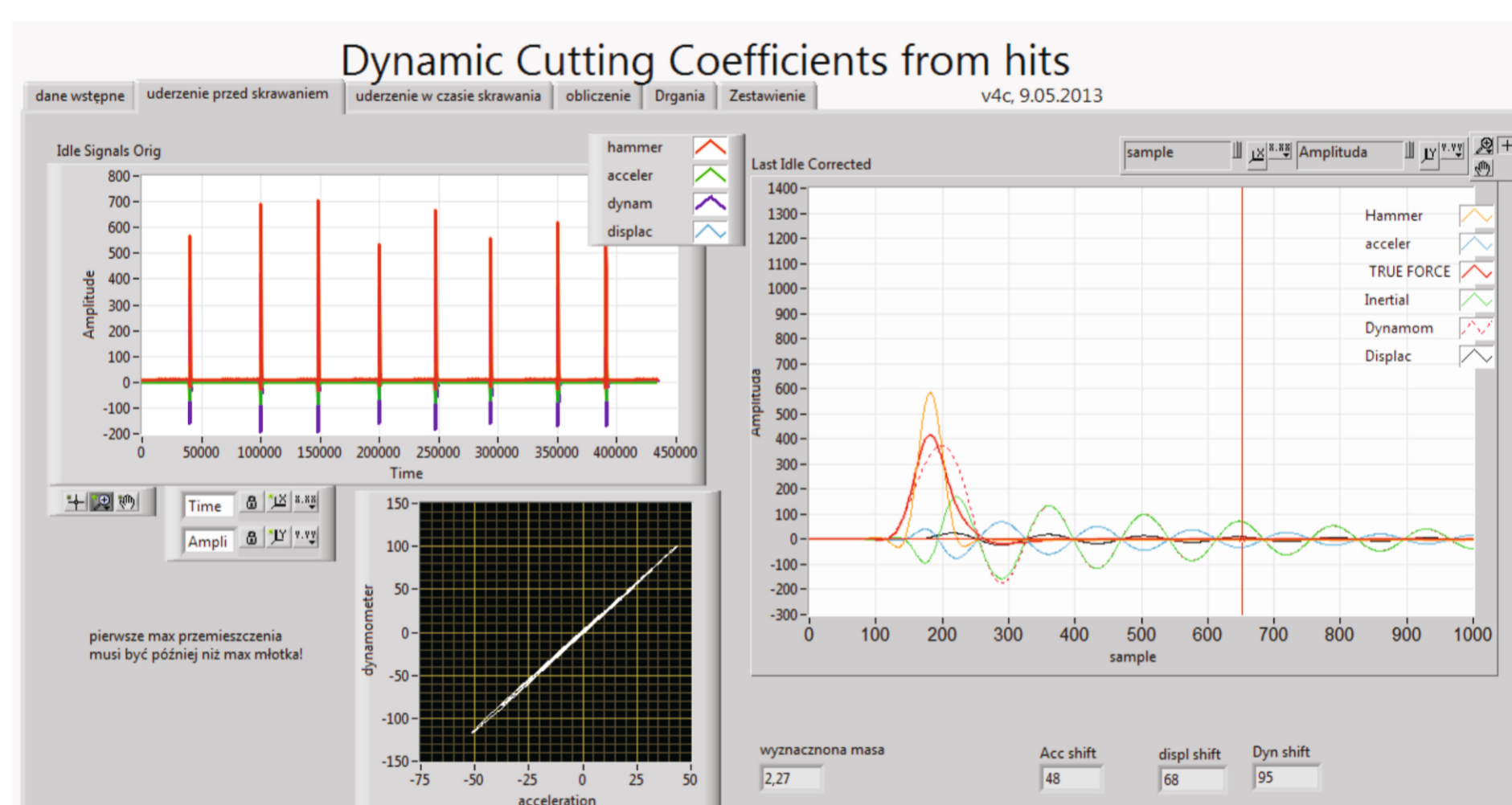
Istotą koncepcji nowej metodyki badania dynamicznej charakterystyki procesu skrawania jest bezpośredni pomiar sił skrawania w czasie drgań. Oznacza to, że siłomierz musi znajdować się pomiędzy strefą skrawania, a podatnym elementem, który powoduje dynamiczne zmiany grubości warstwy skrawanej. Schemat stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys. 1. Płyty górna i dolna są połączone podatnymi, płaskimi sprężynami, które zapewniają, że podatność w kierunku prostym do nich jest znacznie większa niż w innych kierunkach. Na górnej płycie umieszczony jest trójosiowy czujnik siły (dynamometr), do którego mocowany jest nóż tokarski (dla toczenia) lub przedmiot obrabiany (dla frezowania). Do siłomierza przymocowany jest akcelerometr mierzący jego przyspieszenia. Ponadto mierzone są przemieszczenia siłomierza i elementów umieszczonych na nim przy pomocy bezdotykowego indukcyjnego czujnika przemieszczeń zamocowanego sztywno do podstawy.



Rys. 1. Koncepcja stanowiska do pomiaru dynamicznych składowych sił skrawania
Fig. 1. Concept of the device for the measurement of dynamic cutting coefficients

Modyfikacja oprogramowania "DCC from hits"

DCC from hits (Dynamic Cutting Coefficients from hits) - oprogramowanie funkcjonalnie zostało podzielone na szereg zakładek. Pierwsza „dane wstępne” (rys. 2) pozwala na wczytanie pliku i wskazanie fragmentów sygnału do dalszej analizy.



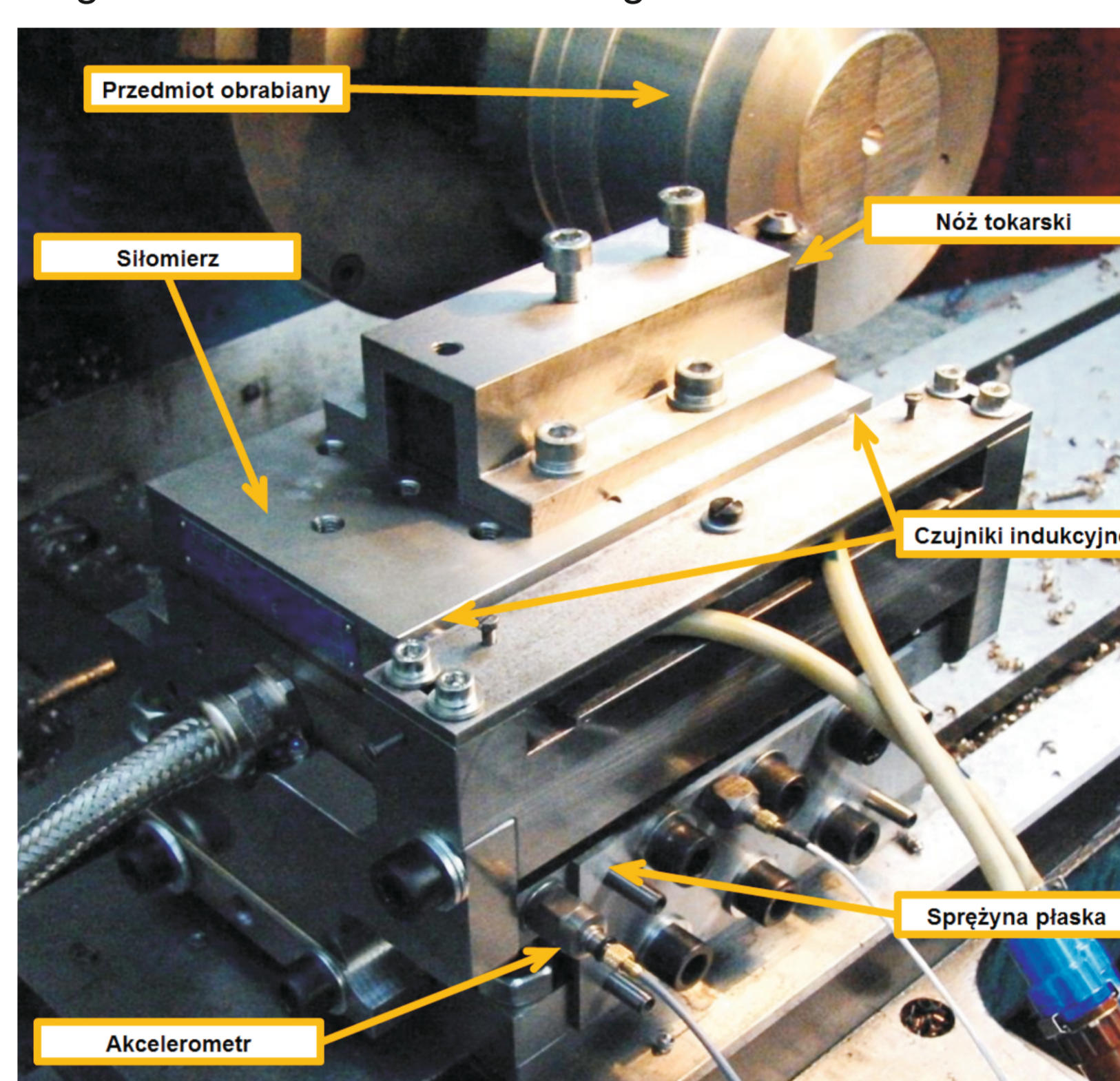
Rys. 2. Oprogramowanie "DCC from hits.vi"
Fig. 2. Screens from "DCC from hits.vi"

Badania

Badania prowadzone były na tokarce TUD 100, użyto noża tokarskiego STGCR2525-M16 z płytką PAFANA TCMT 16T308. Skrawano stal 45. Tor pomiarowy zawierał następujący zestaw czujników:

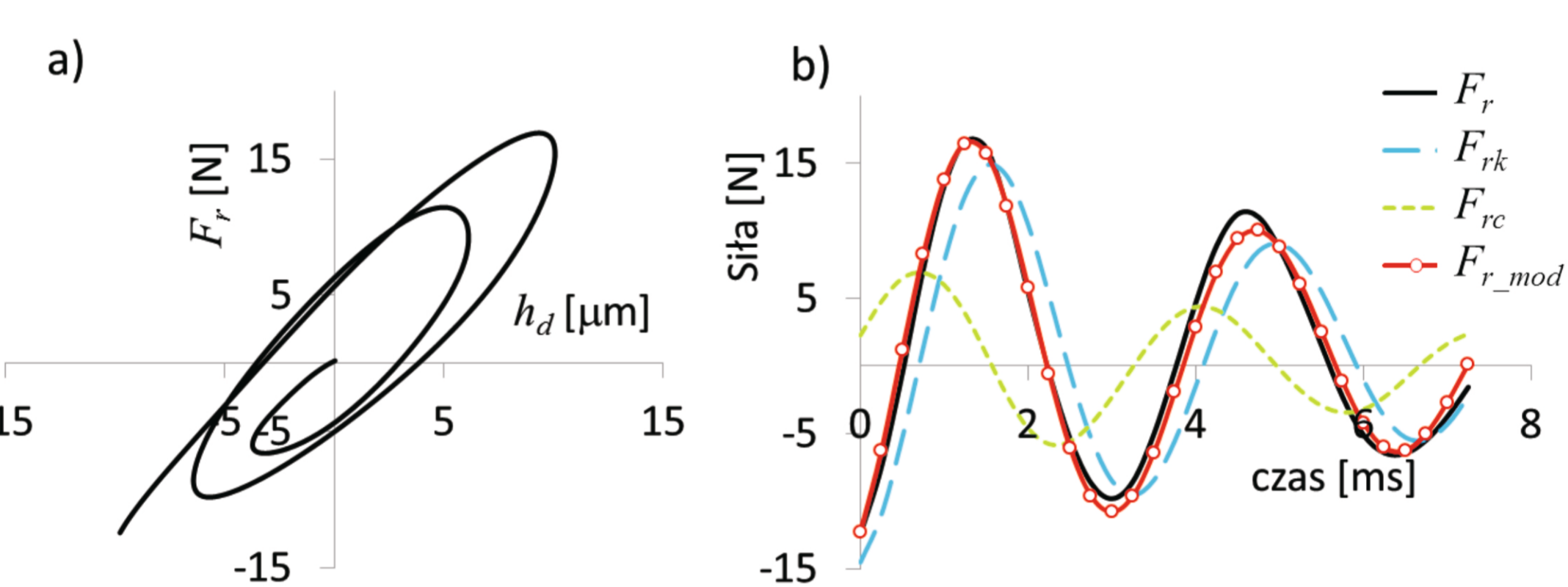
- siłomierz KISTLER typ 9257BA oraz wzmacniacz 5233A1,
- młotek modalny Brüel & Kjær 8207 z końcówką gumową
- akcelerometr 1-osiowy Brüel & Kjær 4514-001 zamocowany na siłomierzu, połączony ze wzmacniaczem Brüel & Kjær NEXUS 2693,
- czujniki indukcyjne OT18 zamocowane w sztywnej obudowie powiązanej z podstawą, połączone z dedykowanym wzmacniaczem.

W trakcie testowania urządzenia do pomiaru dynamicznych współczynników sił skrawania przeprowadzono jego analizę modalną. Stwierdzono występowanie jednej postaci drgań, co potwierdza, że urządzenie może prawidłowo wykonywać pomiar. Próby polegały na wykonaniu szeregu uderzeń młotkiem modalnym w siłomierz, zgodnie z kierunkiem siły posuwowej, w czasie trwania posuwu roboczego przed rozpoczęciem skrawania i w czasie skrawania (rys. 3). Pierwsza seria uderzeń była wykorzystywana do wykonania analizy modalnej oraz służyła każdorazowo do wyznaczenia masy modalnej m niezbędnej do obliczenia siły bezwładności. Druga seria wykonana w trakcie skrawania służyła do wyznaczenia przebiegu sił skrawania w czasie drgań.



Rys. 3. Tor pomiarowy
Fig. 3. Experimental setup

Dla każdego zestawu parametrów skrawania wykonano około dziesięciu uderzeń przed rozpoczęciem skrawania i kolejne dziesięć w czasie skrawania. Napisane oprogramowanie w zautomatyzowany sposób wycina z sygnałów fragmenty z zarejestrowanymi uderzeniami. Z fragmentów sygnałów uznanych przez algorytm za poprawne obliczany jest współczynnik masy m oraz rzeczywista siła skrawania.



Rys. 4. a) Zależność zmiany siły rzeczywistej F_r od h_d ; b) Przebiegi siły F_r , F_{rk} , $F_r(h_d)$ i $F_{r,mod}$ dla współczynnika korelacji 0,99
Fig. 4. a) The influence of h_d on true force F_r ; b) waveforms of force F_r , F_{rk} , $F_r(h_d)$ and $F_{r,mod}$ for correlation coefficient 0,99

Tabela 1. Przykładowe obliczone dynamiczne współczynniki procesu skrawania
Table 1. Sample of calculated dynamic cutting coefficients

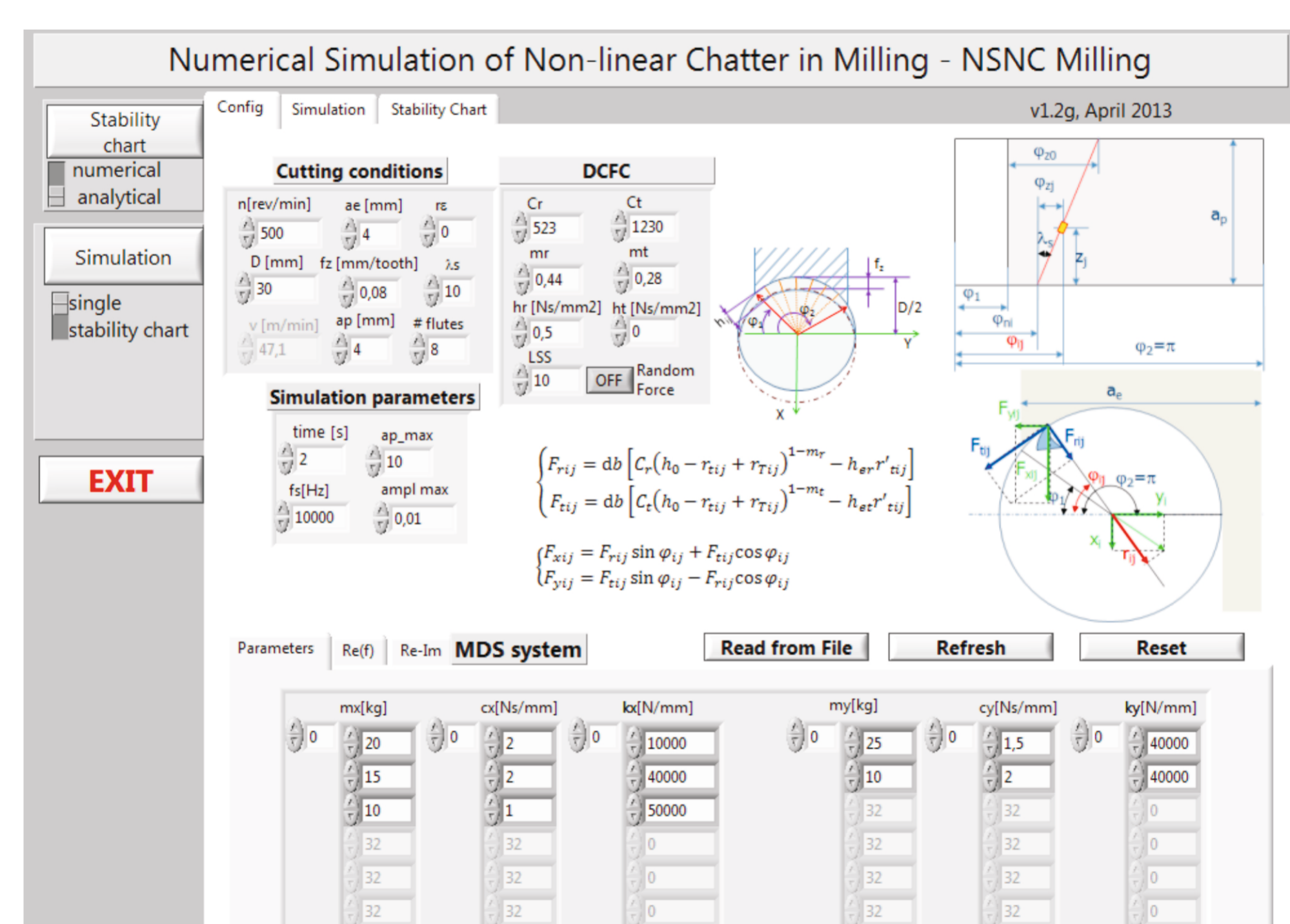
F_d [N]	k_{rp} [N/mm ²]	c_{rp} [Ns/mm ²]	wsp. korelacji
371,7	1317,9	0,378	0,842
377,6	1597,9	0,302	0,679
371,4	1486,6	0,377	0,990

W tabeli 1 przedstawiono przykładowe wyniki obliczonych dynamicznych współczynników procesu skrawania uzyskanych dla uderzeń podczas skrawania z następującymi parametrami: $v_c=19$ m/min, $a_p=3$ mm, $f=0,08$ mm/obr.

Symulacje

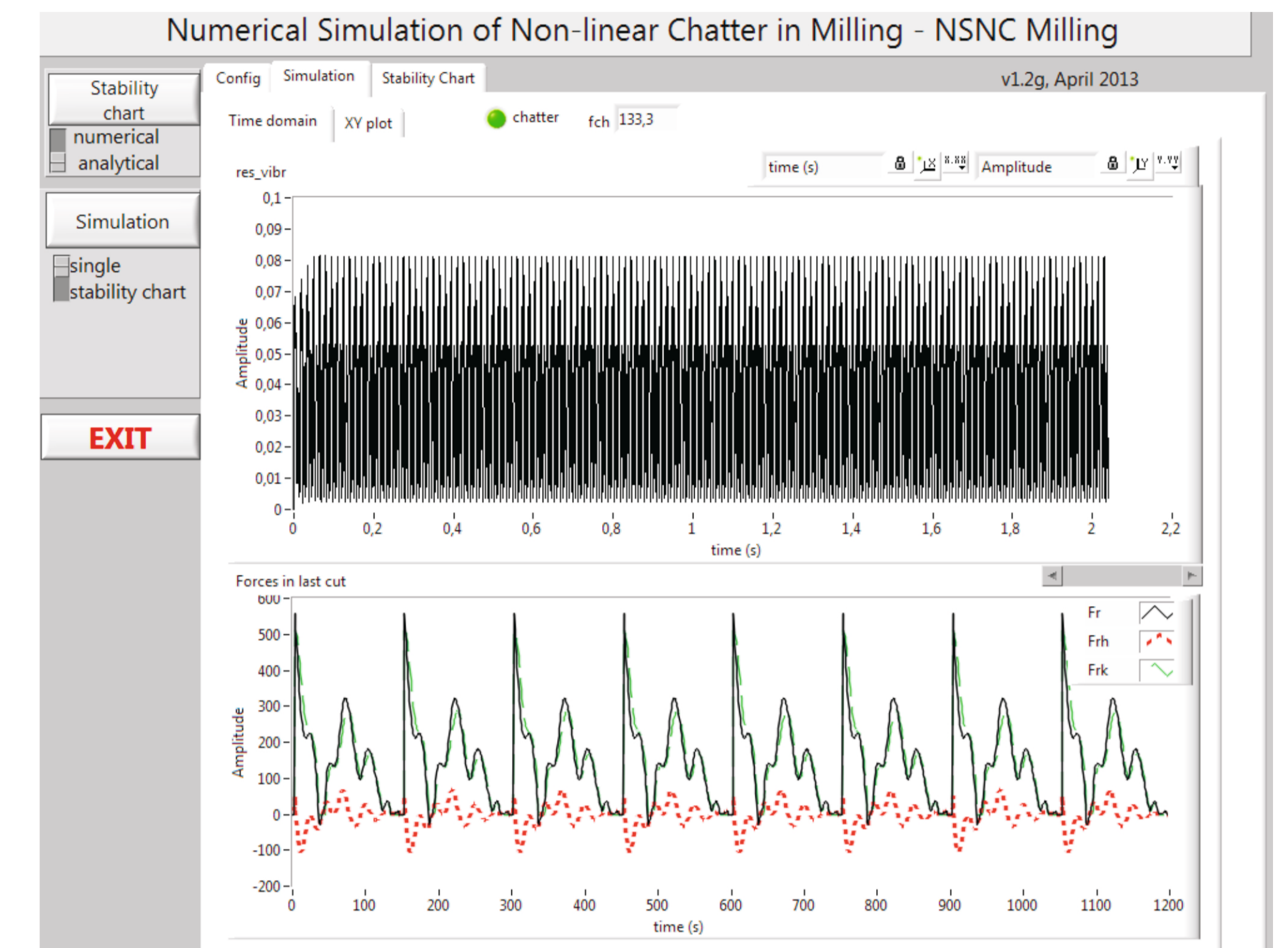
W ramach pracy stworzono kilka wersji programu do symulacji numerycznej sił skrawania i drgań samowzbudnych przy frezowaniu. Na tym etapie analizowane jest skrawanie frezem walcowo-czołowym o zębach skośnych.

- W programie (rys. 5) użytkownik definiuje kilka grup parametrów:
- 1) Parametry obróbki (m.in. prędkość obrotową, posuw lub posuw na ząb, głębokość i szerokość skrawania, liczba zębów frezu i kąt pochylenia ostrzy)
 - 2) Parametry układu MDS
 - 3) Parametry DCPC
 - 4) Parametry symulacji



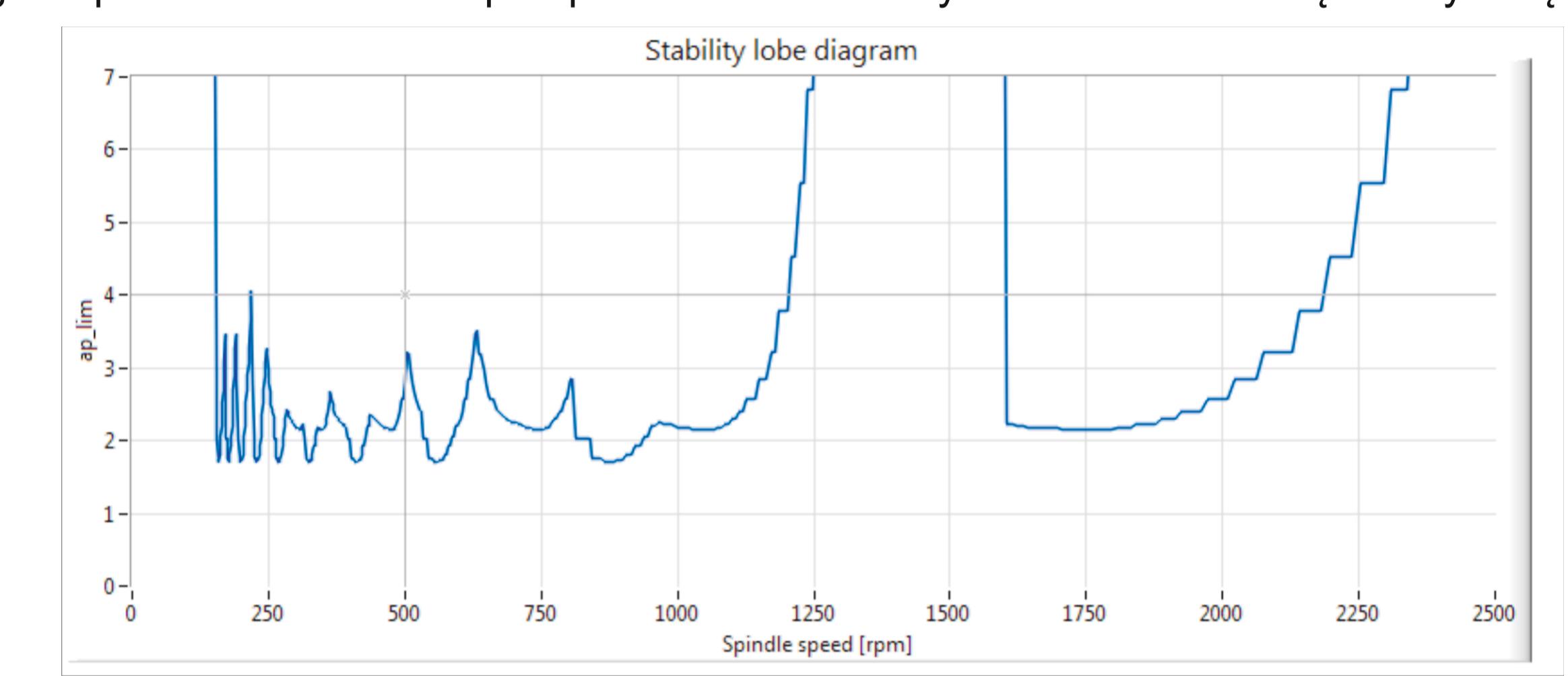
Rys. 5. Ekran główny programu do symulacji numerycznej drgań samowzbudnych
Fig. 5. The main screen of chatters numerical simulation software

Przykładowy efekt pracy programu w postaci przebiegów sił i drgań przedstawiono na rys. 6 dla parametrów wejściowych ustawionych jak na rys. 5.



Rys. 6. Symulowane numerycznie przebiegi drgań (na górze) i dynamiczne składowe sił skrawania (na dole).
Fig. 6. Numerically simulated vibration waveforms (top) and dynamic components of cutting forces (bottom)

Program pozwala również na przeprowadzenie analizy stabilności metodą analityczną (rys. 7)



Rys. 7. Przebieg granicy stabilności
Fig. 7. Stability limit graph

Wnioski Conclusions

Na podstawie przeprowadzonych badań zweryfikowano poprawność i przydatność zaprojektowanego urządzenia pomiarowego. Opracowana metodyka pozwoli na znacznie dokładniejsze niż dotychczas określenie dynamicznych współczynników sił skrawania i ich zależności od dotychczas nieuwzględnianych czynników oraz chwilowych zmian. Wymaga ona jednak dalszego dopracowania, zwłaszcza jeśli chodzi o analizę i interpretację zarejestrowanych sygnałów sił, jako że są one naturalnie zakłócone przez proces skrawania, a co ponadto składowa pochodząca od masy bezwładnej siłomierza jest znacznie większa niż poszukiwana zmienność pochodząca od zmian grubości warstwy skrawanej i prędkości wnikania narzędzia w powierzchnię skrawania.

Przeprowadzone badania mają charakter wstępny, należy je powtórzyć dla szerszego spektrum parametrów skrawania oraz dla różnych geometrii ostrza zarówno dla toczenia jak i frezowania.

Planowane są również pomiary i analiza rzeczywistej siły skrawania mierzonej w czasie powstawania drgań samowzbudnych podczas toczenia jak i frezowania.

Based on performed tests correct works of designed measuring device and its suitability was verified. The developed method gives possibility to determine dynamic cutting force coefficients more accurate and its dependences and temporary changes of factors which was not previously considered. However, it should be further improved, especially in terms of analysis and interpretation of the recorded forces signals, as they are naturally distorted by cutting process, and also component derived from dynamometer inertial mass is much greater than the searched variation coming from changes in the thickness of cut and speed of penetrating surface of workpiece by the cutting tool.

Performed tests were preliminary, they must be repeated for a wider range of cutting parameters and for different geometry of the tool for turning and milling.

It is planned to measure and analyze of true measured forces during the chatters in turning and milling.

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

Referaty

1. Bąk P.A., Jemielniak K.: **Improved automatic modal analysis of machine tool spindles** Zgłoszenie na konferencję naukową International Conference on Advanced Manufacturing Engineering and Technologies, Stockholm 27-30.10.2013 (przesłane do druku)
2. Jemielniak K., Nejman M., Sniegulska-Grądzka D., Wypysiński R.: **New method of dynamic cutting force coefficients determination**, Zgłoszenie na konferencję naukową International Conference on Advanced Manufacturing Engineering and Technologies, Stockholm 27-30.10.2013 (przesłane do druku)

Publikacje

1. Jemielniak K., Nejman M., Sniegulska-Grądzka D., Wypysiński R.: **Wyznaczenie dynamicznych współczynników sił skrawania metodą doświadczalną**, VII Konferencja Szkoły Obróbki Skrawaniem, Mierzęcin 11-13.09.2013 (przesłane do druku)
2. Jemielniak K., Wypysiński R.: **Symulacja numeryczna drgań samowzbudnych – przegląd metod, możliwości i potencjalnych korzyści**, VII Konferencja Szkoły Obróbki Skrawaniem, Mierzęcin 11-13.09.2013 (przesłane do druku)

Prace mgr, dr, hab.

Prace inżynierskie obronione:

- Tomasz Matejowski: **Projekt stanowiska laboratoryjnego do określania charakterystyki dynamicznej**. Promotor: dr inż. Mirosław Nejman
- Ewelina Kulik-Noworucka: **Analiza stabilności obróbki optymalizacja warunków skrawania**. Promotor: dr inż. Rafał Wypysiński

Prace magisterskie obronione:

- Piotr Andrzej Bąk: **Automatyczna analiza modalna wrzeciona frezarki**
Promotor: prof. dr hab. Krzysztof Jemielniak

Prace inżynierskie planowane:

- Michał Gibasiewicz: **Opracowanie metodyki analizy sygnału siły skrawania dla niestabilnych warunków skrawania podczas toczenia**. Promotor: dr inż. Mirosław Nejman