

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

Modelowanie, konstruowanie i kontrolowanie procesu HSM z uwzględnieniem skonfigurowanego układu maszyna- przyrząd-detali

Modeling, construction and control of the HSM process taking into consideration the configured machine-instrument-detail system

Politechnika Warszawska, Politechnika Rzeszowska

Wyniki badań Results

Badania oraz analiza właściwości dynamicznych centrów frezarskich Test and analysis of dynamic properites of milling machines

Opracowane oprogramowanie, bazujące na automatycznej ekstrakcji sygnałów uderzenia i odpowiedzi, detekcji postaci drgań i obliczania parametrów modalnych umożliwia wykonanie testów modalnych przez operatora nie posiadającego doświadczenia w analizie modalnej. Developed software based on the automatic extraction of hit and response signals, modes detection and modal parameters estimation allows for performing modal testing by an operator not experienced in the modal analysis.



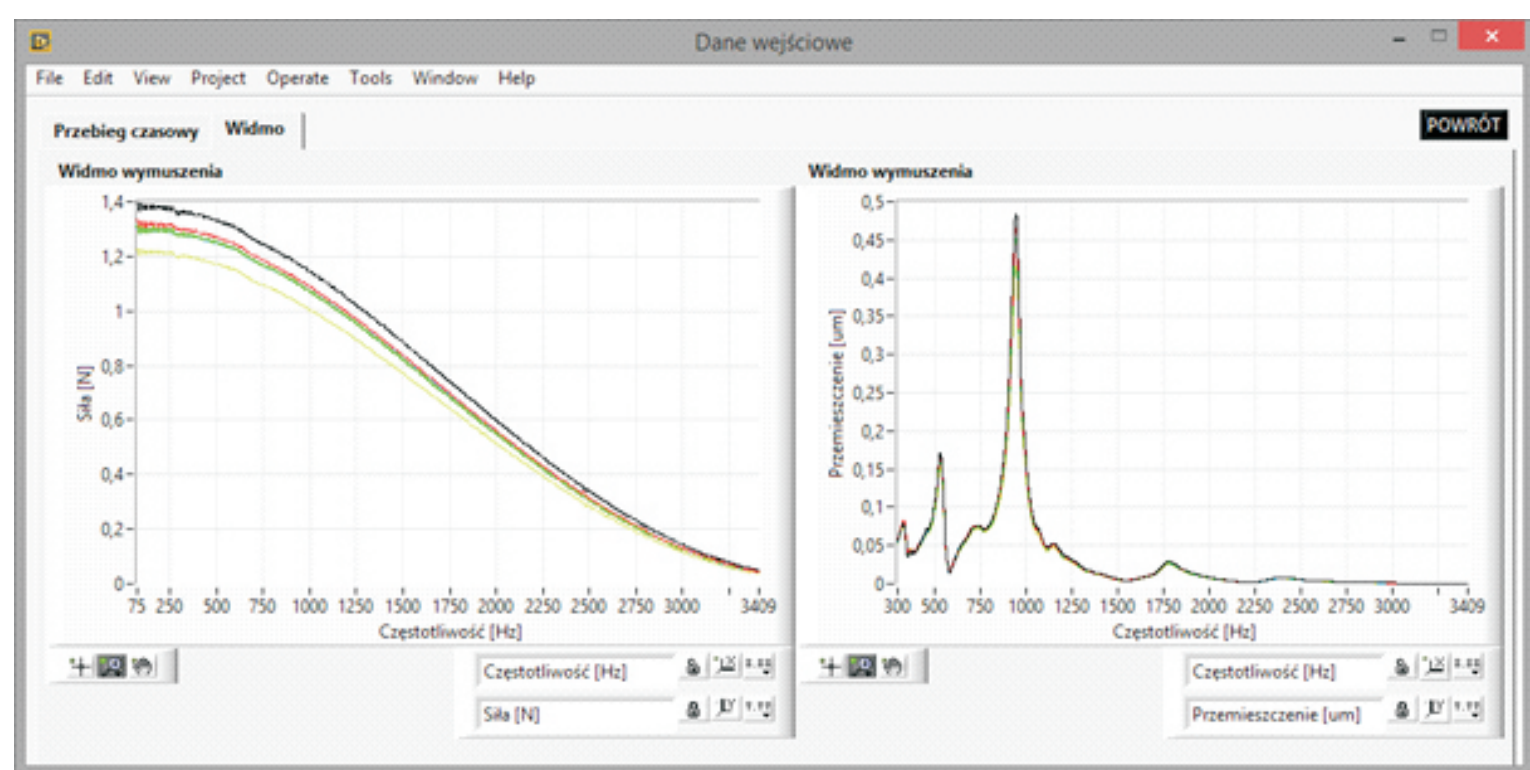
Rys.1. Ekran główny komercyjnej wersji oprogramowania
Fig.1. Main screen of commercial software version

Uzyskanie wyników wymaga jedynie dokonania uderzeń testowych. Oprogramowanie dokona całej analizy samodzielnie i przedstawi wyniki, z których głównym jest wskaźnik podatności dynamicznej. Obtaining results only requires impact test performed. Commercial software made all the analysis required and present the results, with dynamic compliance indicator.



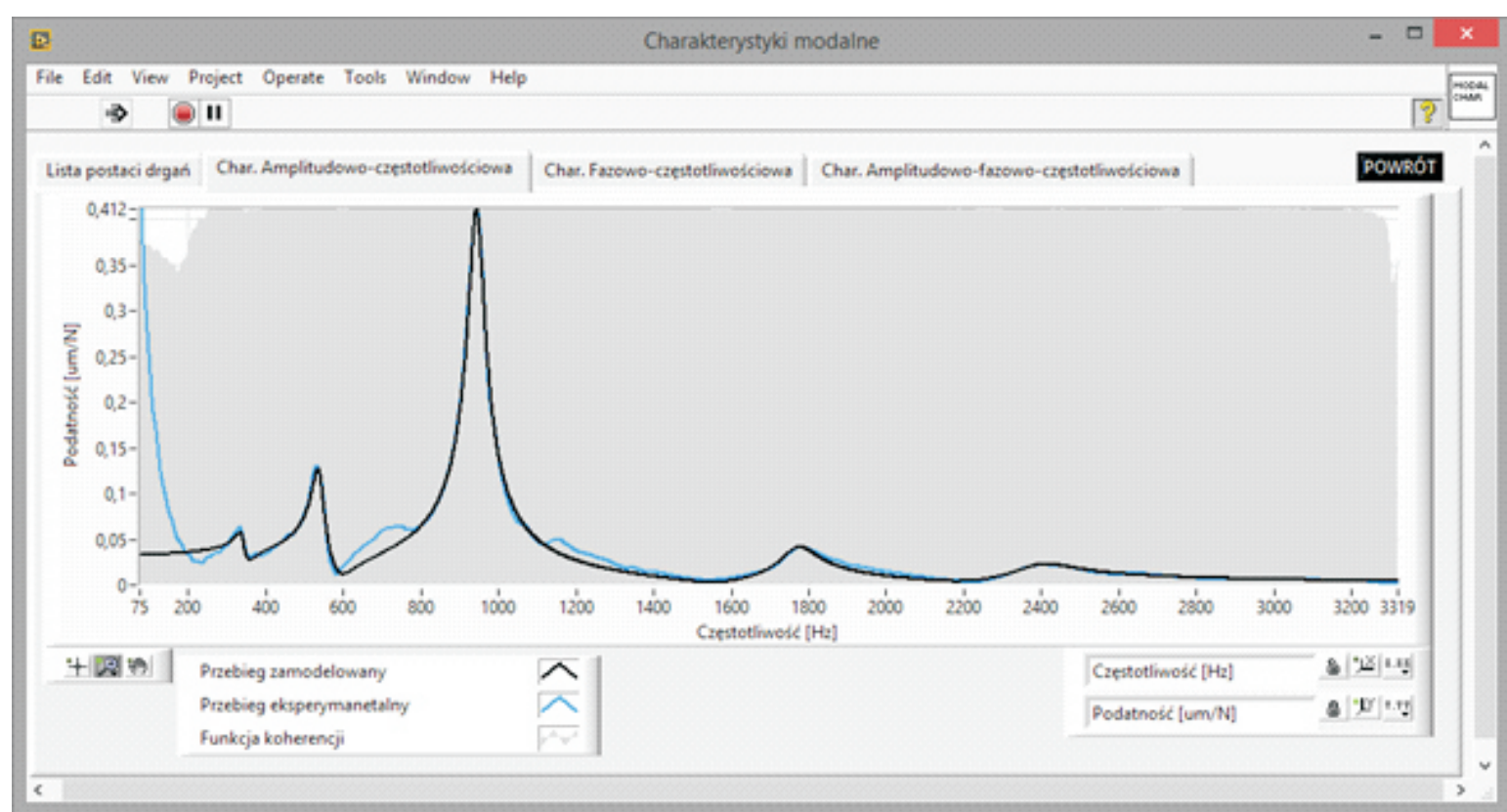
Rys.2. Wyniki analizy modalnej – wskaźnik podatności dynamicznej
Fig.2. Results of modal analysis – dynamic compliance indicator

Możliwe jest zobaczenie danych wejściowych, choć nie wymagane do obsługi programu, jako przebiegów siły i przyspieszenia oraz ich widm. It is possible to see the data input, but is not required to handle the software, as force and acceleration in time domain and their spectra



Rys.3. Podgląd danych wejściowych
Fig.3. Preview of input data

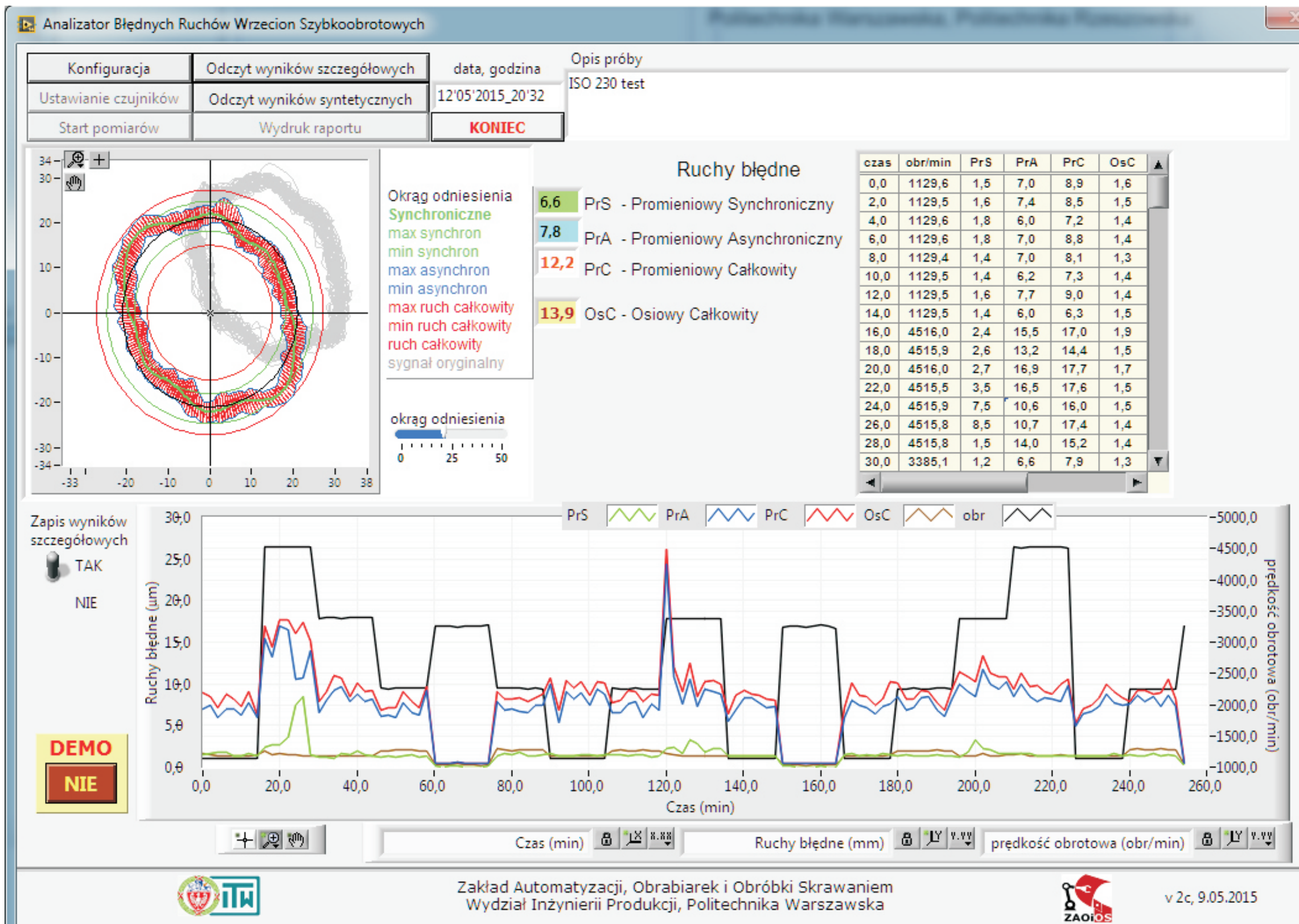
Użytkownik zainteresowany szczegółami analizy może zobaczyć szczegółowe wyniki w postaci różnych charakterystyk modalnych. The user interested in the details of analysis can see detailed results in the form of various modal characteristics.



Rys.4. Charakterystyki modalne – szczegółowe wyniki analizy
Fig.4. Modal characteristic – detailed analysis results

Badania błędnych ruchów wrzecion szybkoobrotowych High speed spindle error analysis

Opracowano autorskie oprogramowanie (ASEM) do analizy błędnych ruchów wrzecion. Zastosowano wydajniejsze i bardziej dokładne algorytmy wyliczania prędkości obrotowej badanego wrzeciona. Zaimplementowano własną, oryginalną metodę określania liczby punktów pomiarowych przypadających na jeden obrót wrzeciona. W oparciu o komercyjny zestaw do analizy ruchów błędnych wrzecion, przeprowadzono badania porównawcze oprogramowania komercyjnego i autorskiego. Analyser of Spindle Error Movements (ASEM) was created by authors. More efficient and correct algorithms were applied. Original method of determining numbers of measurement points per one rotation of the spindle were implemented. Based on the commercial set to spindles motions error analyse, the research on the spindle were carried out using both commercial program and software created by authors.



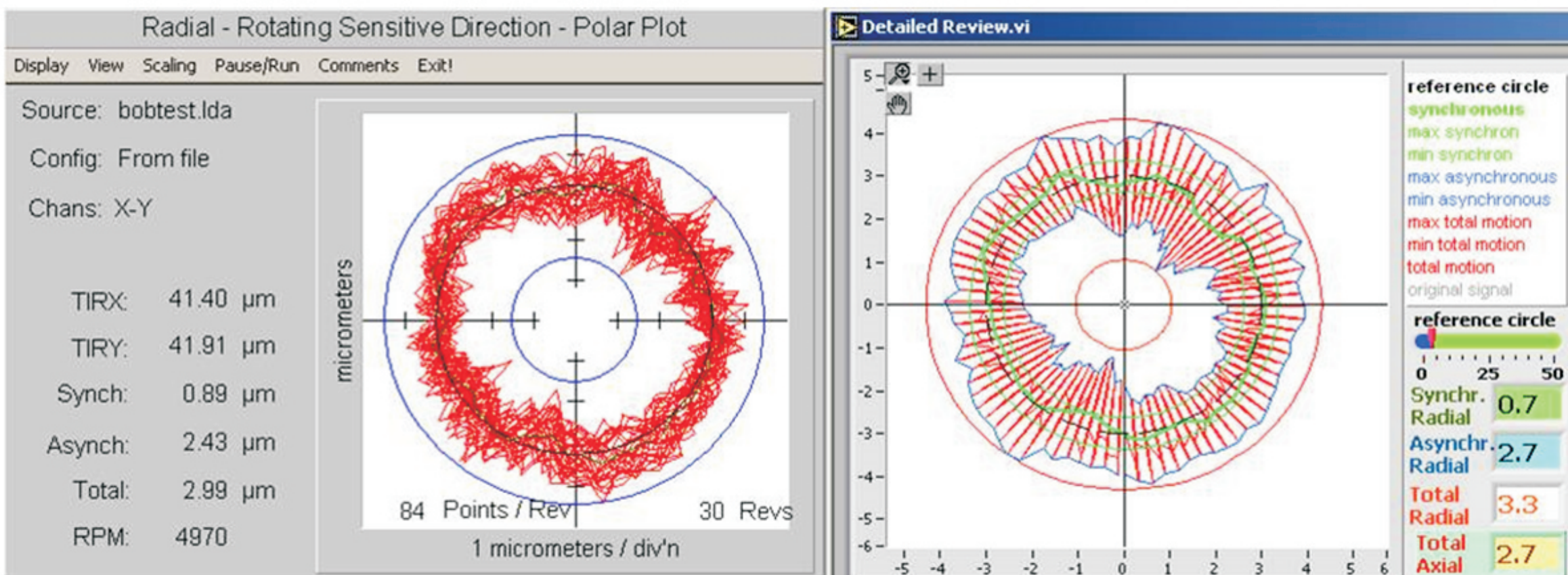
Rys.5. Ekran główny autorskiego oprogramowania do pomiarów ruchów błędnych wrzecion
Fig.5. Main screen of Analyser of Spindle Error Movements (ASEM)

Badania porównawcze ruchów błędnych przeprowadzono obydwoma programami w cyklu automatycznym. O ile program autorski całkowicie automatycznie dokonał pomiarów, w przypadku programu komercyjnego konieczne było dostrojenie systemu poprzez ustawienie wybranych parametrów. Ponieważ obrabiarka miała niestabilną prędkość obrotową w wyższym zakresie początkowe próby automatycznego pomiaru przy standardowych ustawieniach zakończyły się fiaskiem. Wyniki pomiarów uzyskane z obu programów są różne. W Tab. 1 przedstawiono ekrany z podsumowaniem pomiarów w obu programach. Comparative studies of error motions were carried out both programs in automatic cycle. While the ASEM program performed fully automated measurements in the case of commercial program, it was necessary to tune the system by setting the selected parameters. Since the machine tool has unstable rotational speed in the upper range, the first attempts of automatic measurements using the standard settings have failed. The measurement results obtained from the both programs are different. Tab. 1 shows a screen with a summary of measurements in both programs.

SPINDLE ERROR ANALYZER REPORT					ASEM REPORT				
RPM	Total	Sync	Async		RPM	Total	Sync	Async	
504	47.8	40.0	46.9		501.3	5.1	1.7	4.2	
999	4.1	1.9	2.6		999.9	5.3	1.6	4.2	
1500	4.4	2.2	3.5		1500.5	5.5	1.2	4.4	
2000	5.1	1.6	4.3		2001.6	6.0	1.2	4.7	
2507	5.9	1.7	5.1		2507.9	6.4	1.4	5.3	
3013	5.3	2.5	4.4		3013.3	6.4	1.9	6.3	
3523	7.1	1.8	6.5		3518.0	8.1	1.6	6.4	
4021	7.0	1.7	5.8		4023.2	9.6	2.1	7.7	
4524	10.5	7.1	4.5		4529.9	10.0	4.3	7.0	
5032	8.6	5.1	3.7		5037.8	9.9	2.2	6.6	
5536	10.0	7.1	6.5		5545.1	9.7	3.2	6.8	
5991	11.4	7.5	5.3		5999.7	9.0	3.8	6.7	

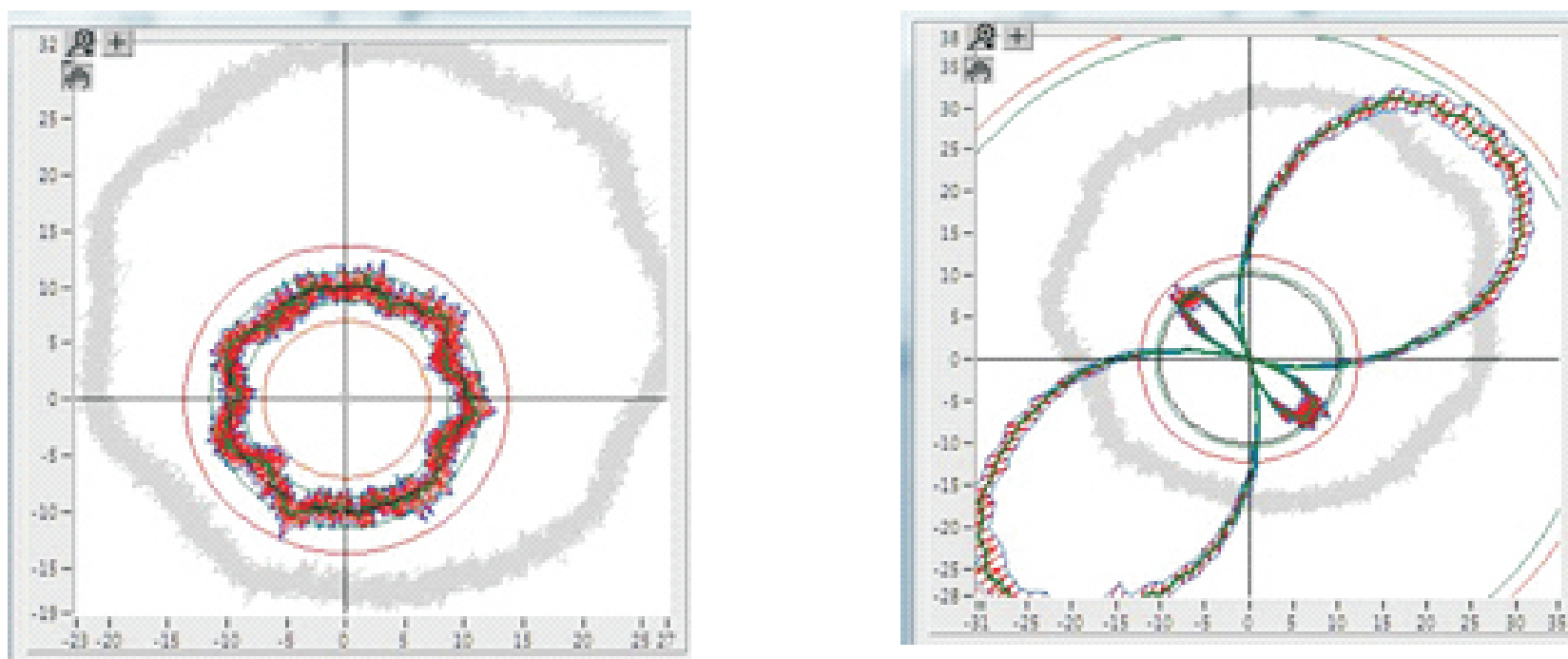
Tabela 1. Porównanie wyników badań a) oprogramowanie komercyjne ; b) ASEM (autorskie)
Table 1. Comparison of the results a) commercial b) ASEM software

Można zauważyć, że wartości ruchów błędnych obliczone przez program komercyjny są wyższe niż obliczone programem autorskim. Może to wynikać stąd, że oprogramowanie komercyjne nie rzutuje położenia punktu mierzonego na kierunku wrażliwy. Na Rys. 6 przedstawiono wykresy biegunowe z obu programów. It can be seen that the error motion values calculated by the commercial program are different than calculated by the ASEM program. This may be due to the fact that commercial software does not project the position of the measured point to the sensitive direction according to recommendation of the standards. A large value of errors computed by commercial software at 504 rpm are the result of necessity to set the fixed parameters for the entire measured range. Setting spindle speed 500 rpm was close to the minimum allowable rotation (488 rpm). Polar plots obtained from both programs are presented in Fig. 6.



Rys.6 Wyniki analizy oprogramowaniem a) komercyjnym b) ASEM
Fig.6. Results obtained with commercial (left) and ASEM (right) programs

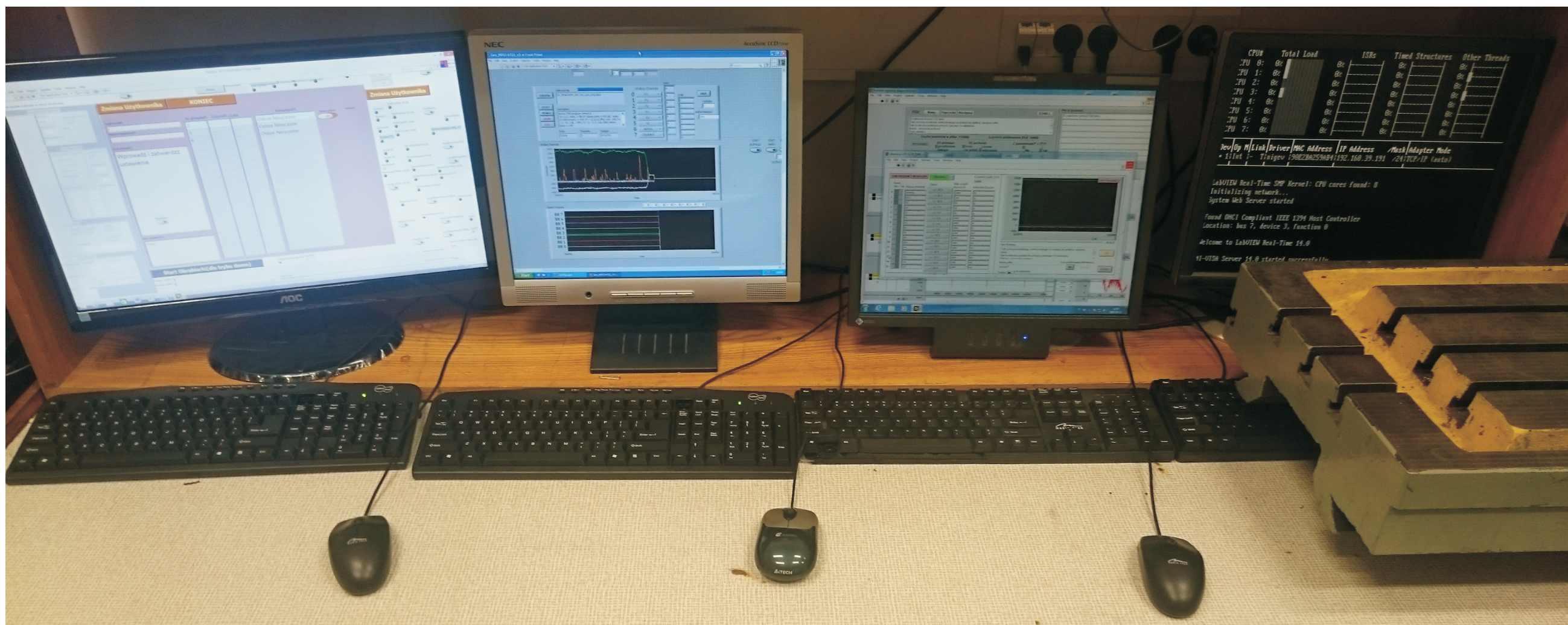
Wykres uzyskany z oprogramowania autorskiego z rzutowaniem na kierunku wrażliwe jest znacznie czytelniejszy i bardziej uporządkowany. W trakcie badań zauważono również, że zmiana kierunku obrotów, w przypadku oprogramowania komercyjnego nie powoduje istotnych zmian wykresu biegunowego. Natomiast w przypadku własnego programu zmiany kształtu wykresu są bardzo duże, takie, że wykres praktycznie staje się nieczytelny. Na rys. 7 przedstawiono wykresy uzyskane z oprogramowania autorskiego po zmianie kierunku obrotów. The plot obtained from the ASEM software with projection on the sensitive direction is much more clear and transparent. It has been noticed that the change of the rotation direction the commercial software does not show any significant changes in the polar plot. However, in the case of the ASEM software, such change of rotational direction causes radical change of the plot, making it practically unreadable as the rotation angle is taken the wrong way, due to wrong interpretation of X and Y axis. The polar plot for CW and CCW directions, obtained from the ASEM software shows in Fig. 7.



Zgodnie z teorią wykres po zmianie kierunku obrotów wrzeciona, powinien być całkowicie różny od wykresu przy kierunku przeciwnym. According to the theory plot after the changing direction of the spindle rotation, should be entirely different from the plot in the reverse direction.

Budowa stanowiska do testowania układu ADONIS 10

W ramach projektu opracowano stanowisko do testowania układu ADONIS 10 w wersji sprzętowej. Na stanowisku tym rzeczywista obrabiarka została zastąpiona przez wirtualną obrabiarkę czyli komputer z kartą DAQ który generuje wszystkie sygnały dochodzące z rzeczywistej obrabiarki do układu diagnostyki na podstawie danych z rzeczywistych badań doświadczalnych zapisanych w plikach. Rejestrator sygnałów znajdujący się na stanowisku umożliwił ocenę rzeczywistej reakcji układu na wystąpienie KSO.



Rys.9. Stanowisko testowe układu ADONIS (komputery od lewej: interfejs układu ADONIS, wirtualna obrabiarka, rejestrator, komputer RT)

- Interfejs układu ADONIS – komputer ten stanowi interfejs układu ADONIS, odpowiada za sterowanie pracą komputera RT.
- Wirtualna obrabiarka – komputer odpowiadający za symulację rzeczywistej obrabiarki. Jest wykonany w formie generatora analogowo/cyfrowego, pozwalającego na odtwarzanie z plików rzeczywistych sygnałów napięciowych, zarejestrowanych w wcześniejszych badaniach.
- Rejestrator – komputer odpowiedzialny za kontrolę poprawnej generacji sygnałów przez wirtualną obrabiarkę oraz sprawdzenie rzeczywistych opóźnień wystąpienia alarmu katastroficznego stopienia ostrza (KSO).
- Komputer RT – „serce” układu ADONIS. Komputer działający z systemem czasu rzeczywistego (RT – real time), pozwalającym na przewidywalne w czasie działanie wszystkich zaprogramowanych procedur, co jest niemożliwe do osiągnięcia programach uruchamianych pod systemem MS Windows.

Połączenia pomiędzy kartami pomiarowymi (rejestrator i komputer RT) i generacyjnymi (wirtualna obrabiarka) pozwalają na przekazanie 7 sygnałów analogowych (3 składowe sił, 3 składowe drgań i 1 składowa emisji akustycznej) oraz 8 sygnałów cyfrowych (start/stop operacji obróbkowej, start/stop posuwu roboczego, 5 linii numeru narzędzi i 1 linia alarmu KSO).

Wnioski Conclusions

Analiza modalna

Pracując w trybie przemysłowym program wykonuje wszystkie obliczenie, które uzna za wymagane. Korzystając z tej opcji program nie wymaga od użytkownika uwagi do momentu zakończenia analizy. Tylko kilka uderzeń jest wymaganych młotkiem modalnym, a program automatycznie wykona następujące kroki:

- Wyodrębnienie sygnałów siły i odpowiedzi z całego zarejestrowanego sygnału odrzucając przy tym niepoprawne uderzenia
- Obliczenie widm sygnałów oraz funkcji odpowiedzi częstotliwościowej
- Detekcja postaci drgań i odrzucenie postaci nieistotnych
- Obliczenie zespolonej funkcji FRF, modelu obiektu i zaprezentowanie na kilka sposobów, jako: charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa, fazowo-częstotliwościowa, a także na hodografie charakterystyka amplitudowo-fazowo-częstotliwościowa.

Wyniki testów potwierdzają poprawność opracowanej metodyki automatycznej analizy modalnej

While working in industrial option program performs all calculation which needs to be done. In this option the program does not need the attention of user until end of analysis. Only few hits are needed with a modal hammer, while measuring acceleration to have a ready characteristic in a moment. The program automatically executes the following steps:

- extraction of hit and responses from entire signal, with rejection of non-proper ones.
- computation of signals spectra and frequency response function.
- detection of modes, rejecting irrelevant ones
- calculation of the complex FRF model and presents it in several forms: amplitude-frequency characteristic, phase-frequency characteristic and also Re(H) and Im(H) on the hodograph as amplitude-phase-frequency characteristic

The test results confirm the propriety of developed automatic modal analysis methodology.

Badania ruchów błędnych wrzecion

Zdaniem autorów opracowane własne oprogramowanie i zastosowane w nim algorytmy, w sposób znacznie dokładniejszy wyznaczają wartości błędnych ruchów wrzeciona. Oprogramowanie działa w sposób całkowicie automatyczny samodzielnie dobierając ustawienia karty pomiarowej wykrytej prędkości obrotowej wrzeciona. Praktycznie średnio wykształcony technik jest w stanie samodzielnie przeprowadzić pomiary.

The ASEM program and applied algorithms define the spindle error motions in a much more accurate way. The developed software works automatically, measures rotational speed, and sets the proper sampling frequency. An average educated technician is practically able to carry-out measurements.

Przykłady zastosowania w lotnictwie Examples of application in aviation

Opracowane oprogramowanie umożliwia wykonanie testów modalnych, a także pomiarów błędnych ruchów wrzecion, w bardzo krótkim czasie, bez specjalnych szkoleń, nie wpływając na harmonogram pracy maszyn. Developed software for automatic modal analysis and spindle error movements enables performing tests in short time and without additional training or without any influence on machine work schedule.

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

Publikacje

- Jemieliński K., Chrzanowski J.: **Spindle error movements measurement algorithm and a new method of results analysis.** *Journal of Machine Engineering*, vol. 15, no 1, 2015