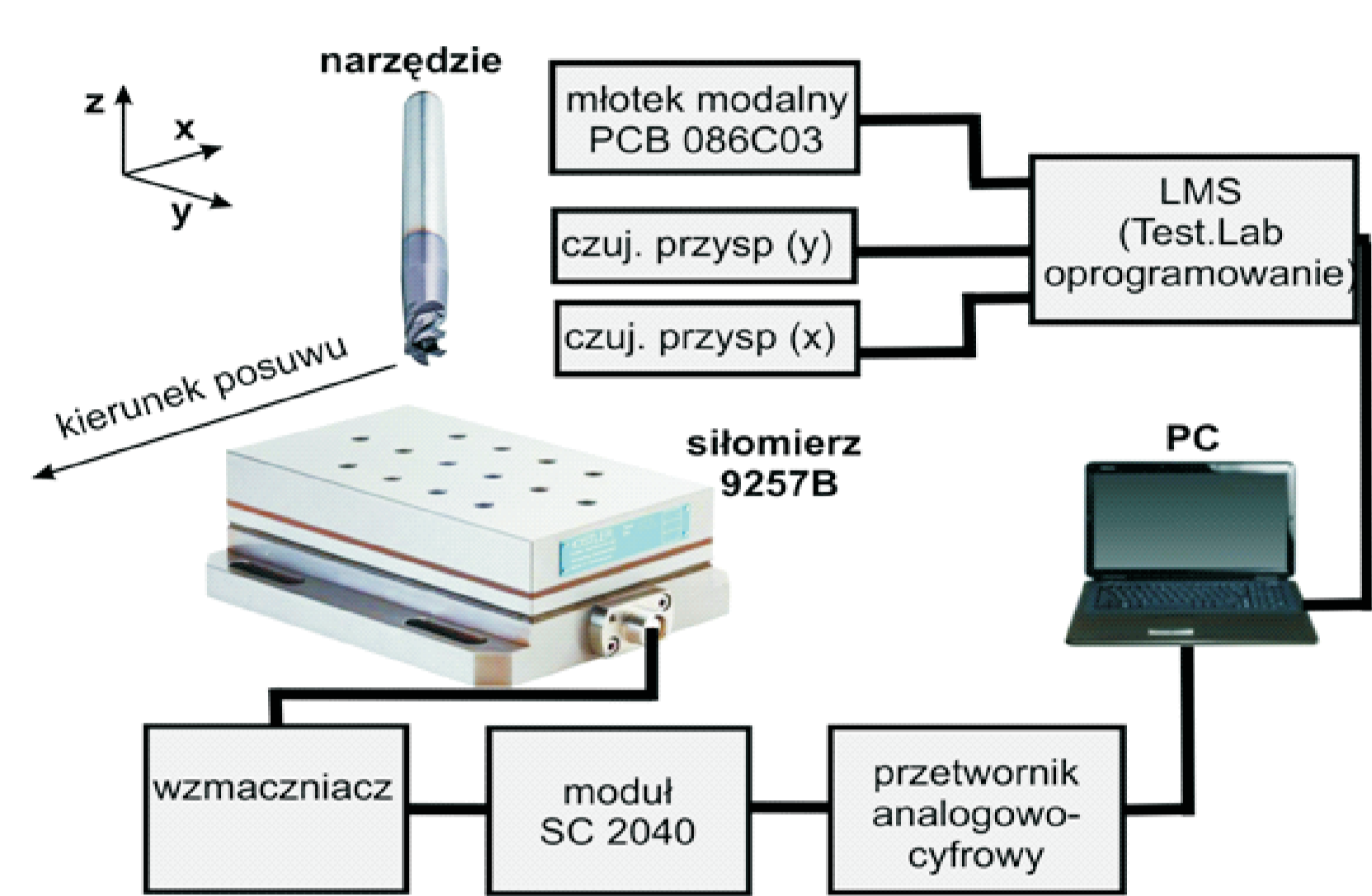


## Opracowanie zaawansowanych procesów obróbki HSM trudnoobrabialnych stopów lotniczych

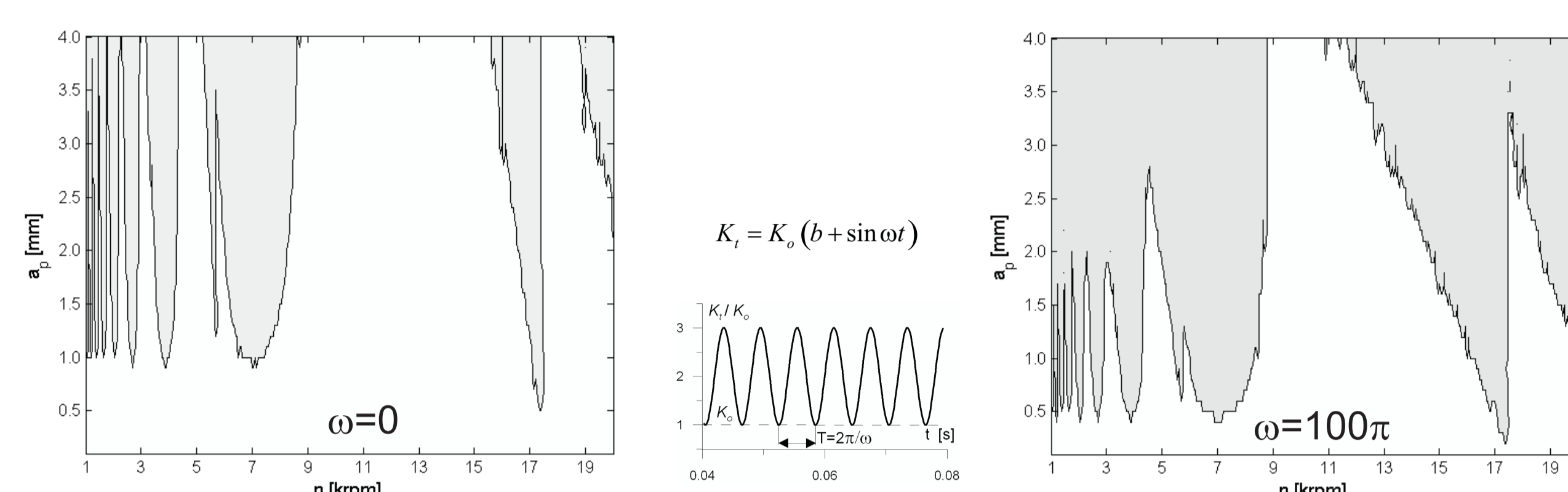
Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Politechnika Łódzka, Politechnika Warszawska

### Główne wyniki badań

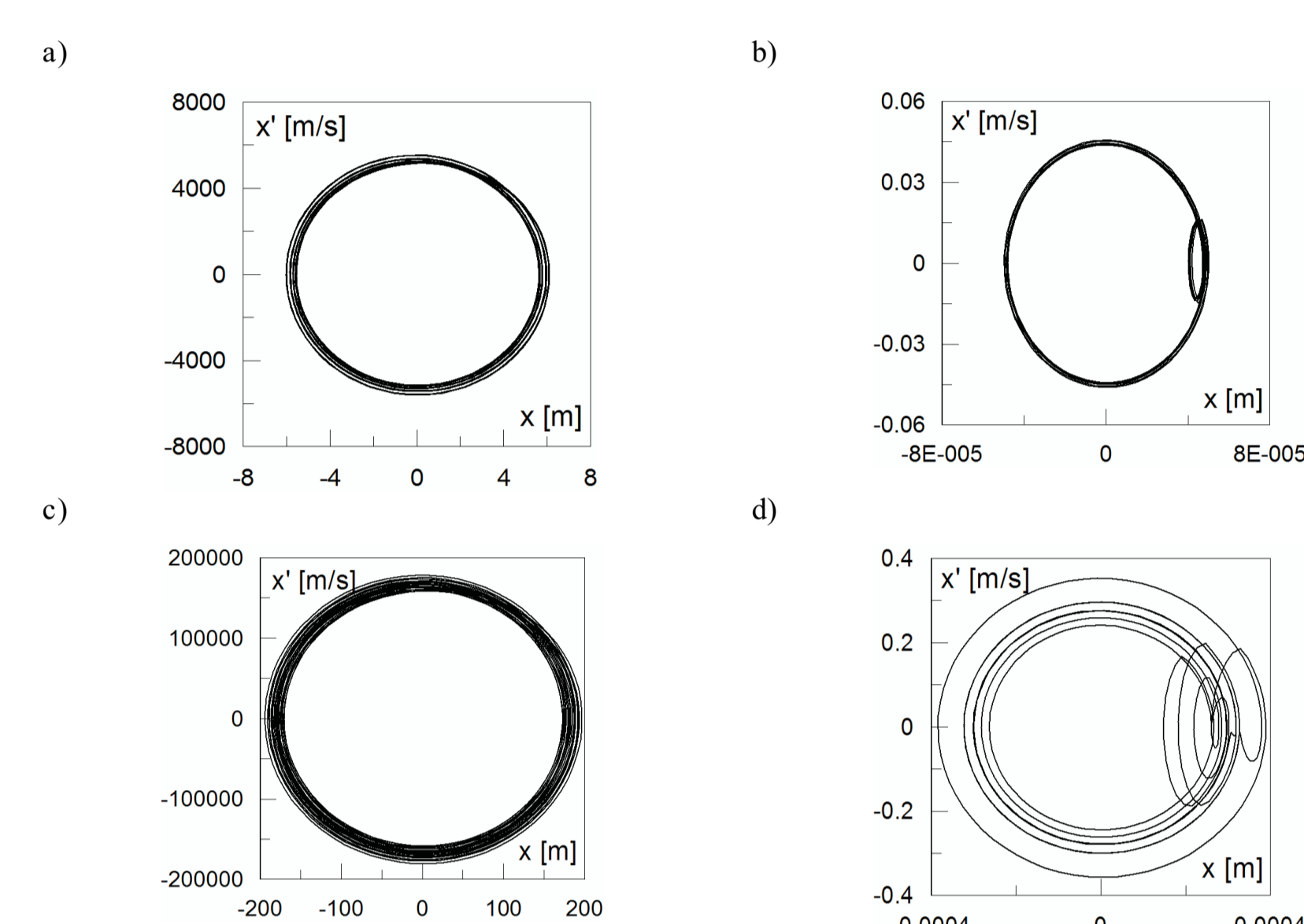


Rys. 1. Schemat stanowiska do pomiaru sił skrawania

### Modelowanie procesu frezowania - model regeneracyjny (c.d.)

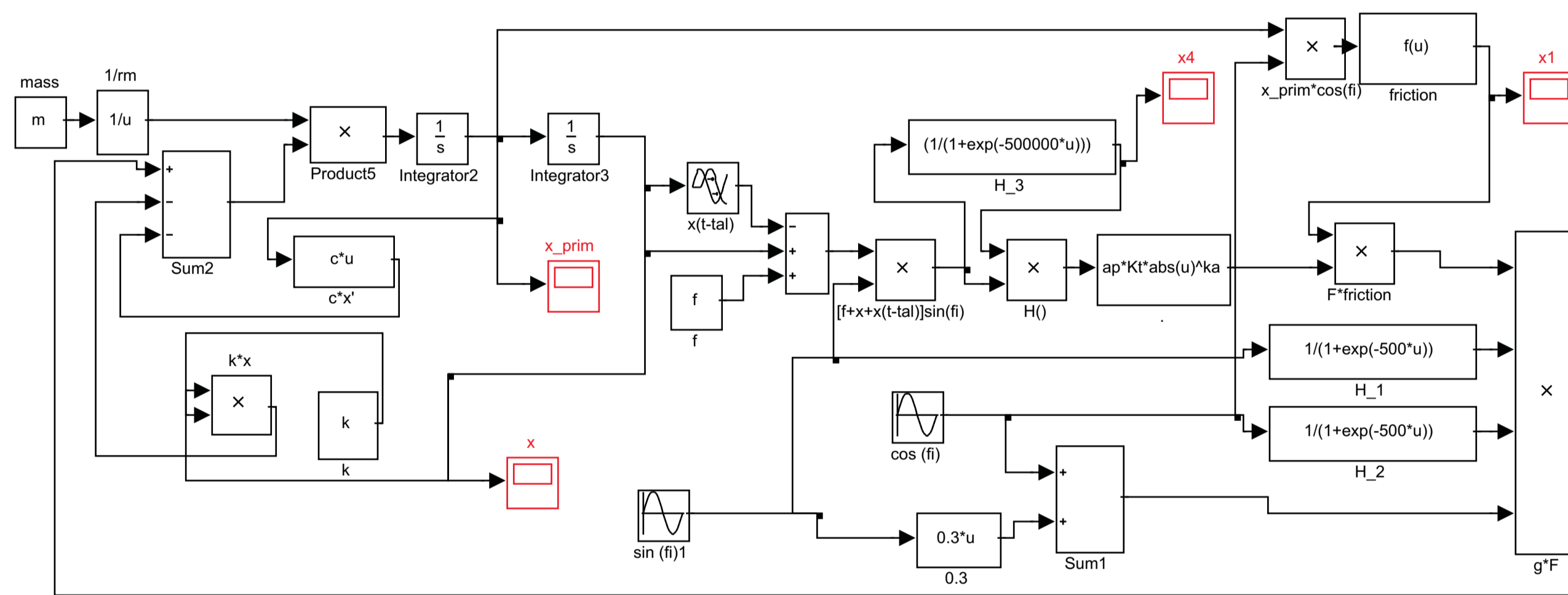


Rys. 6. Diagramy stabilności procesu frezowania

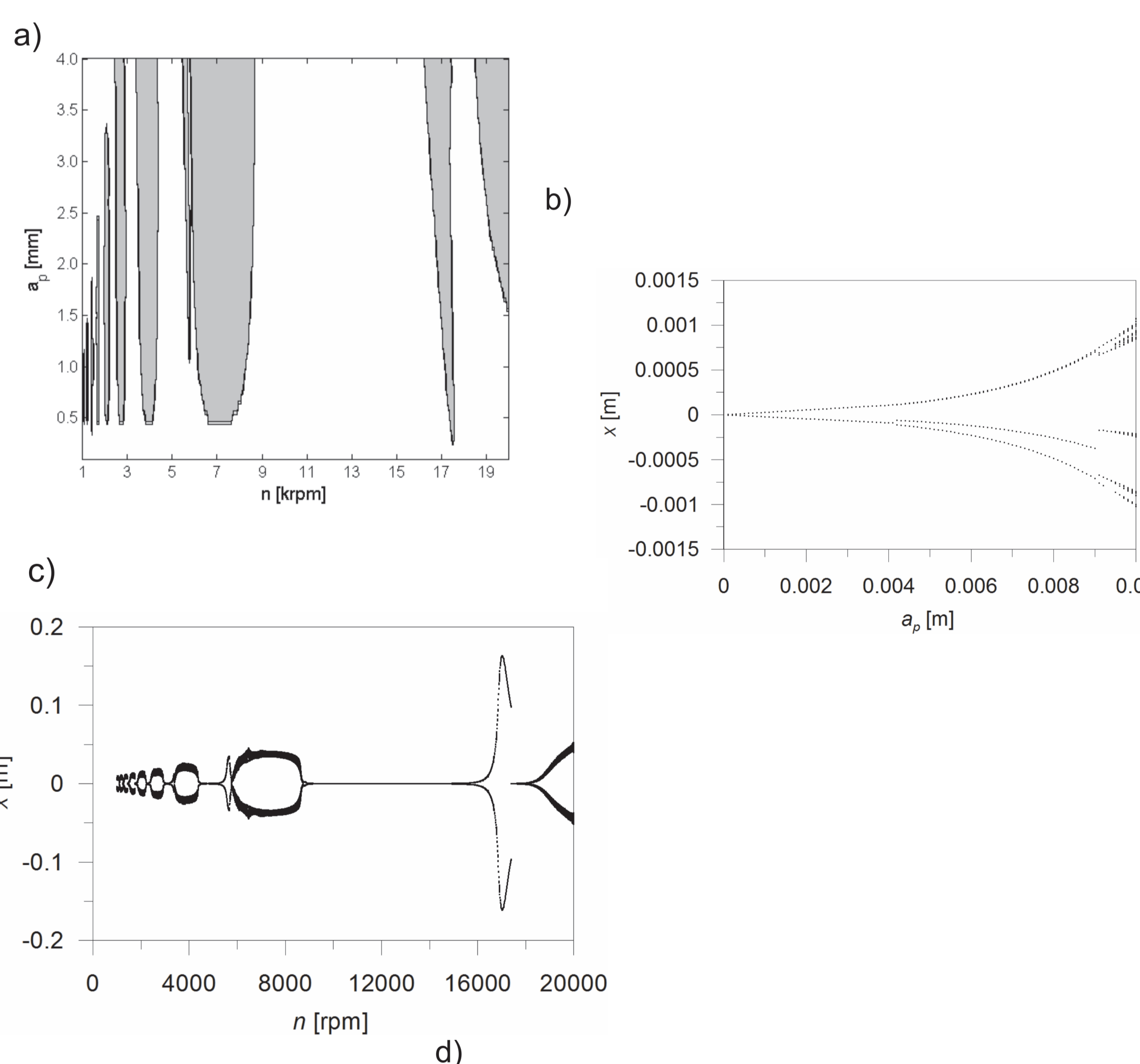


Rys. 7. Portrety fazowe dla niestabilnego frezowania (a, c) oraz stabilnego (b, d). Parametry skrawania: a)  $n=7\text{krpm}$ ,  $a_p=2\text{mm}$ ,  $\omega=0$ ; b)  $n=14\text{krpm}$ ,  $a_p=2\text{mm}$ ,  $\omega=0$ ; c)  $n=7\text{krpm}$ ,  $a_p=2\text{mm}$ ,  $\omega=100$ ; d)  $n=14\text{krpm}$ ,  $a_p=2\text{mm}$ ,  $\omega=100$

### Model regeneracyjny z tarcieniem suchym



Rys. 8. Schemat blokowy modelu frezowania w programie Matlab-Simulink



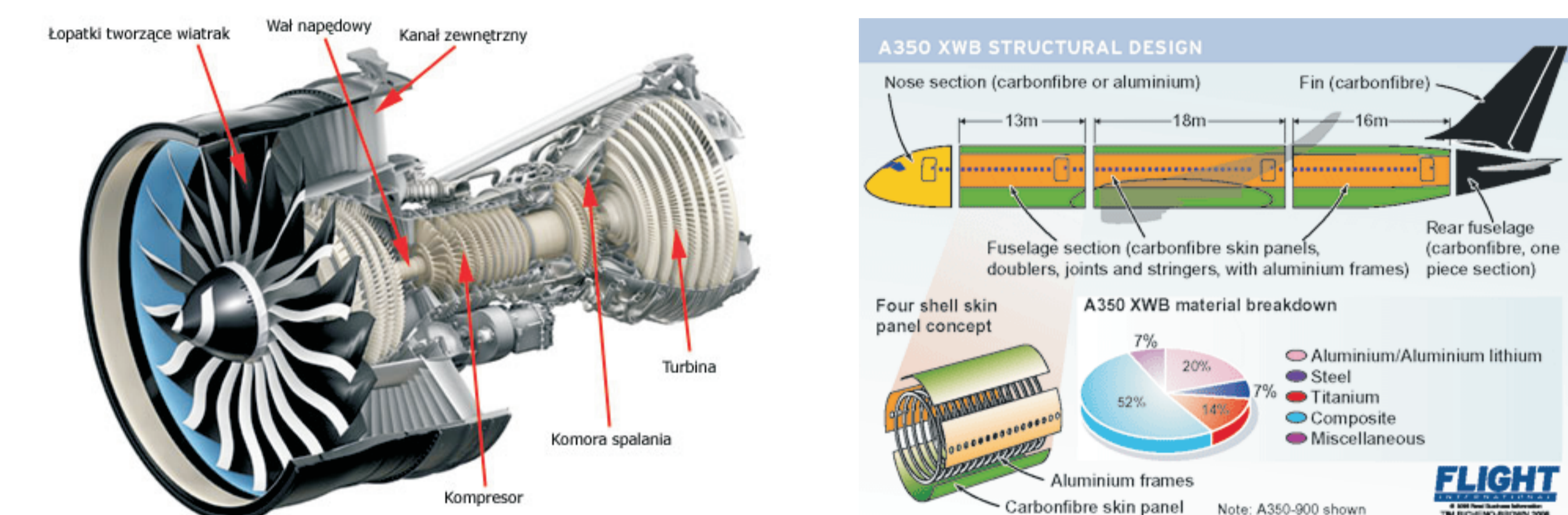
Rys. 9. Diagramy stabilności procesu frezowania z efektem regeneracyjnym i tarciovym (a). Wykresy bifurkacyjne otrzymane przy prędkości obrotowej wrzeczona 10000obr/min (b); głębokości skrawania  $a_p=0.2\text{mm}$  (c); oraz głębokości skrawania  $a_p=3\text{mm}$  (d)

### Wnioski

- Analiza multifraktalna została z powodzeniem zastosowana do obróbki sygnału siły skrawania
- Model regeneracyjny procesu frezowania materiałów o zmiennym oporze skrawania wykazał jego znaczący wpływ obszary stabilności procesu
- Model frezowania z efektem regeneracyjnym wzbogacony o zjawisko tarcia suchego wpływa stabilizująco na proces skrawania

### Przykłady zastosowania w lotnictwie

Materiały z grupy tzw. "superstopów" (stopy niklu i tytanu) oraz materiały kompozytowe stosowane na elementy silników odrzutowych pracujące w ekstremalnych warunkach oraz elementy pozycja



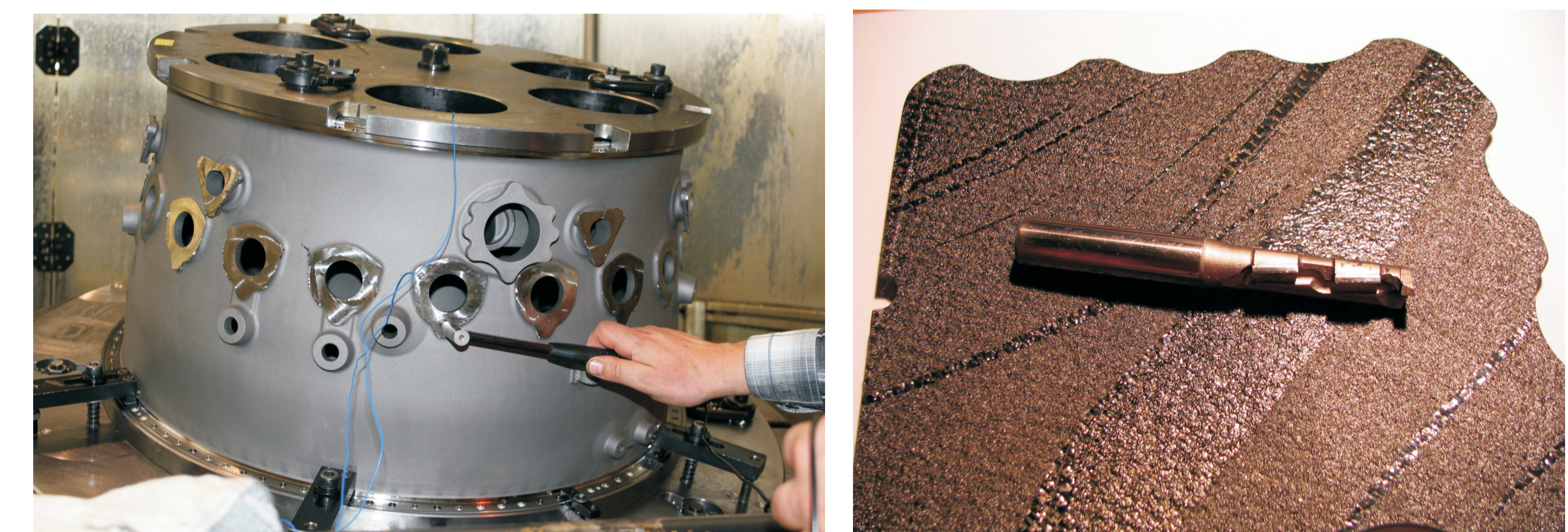
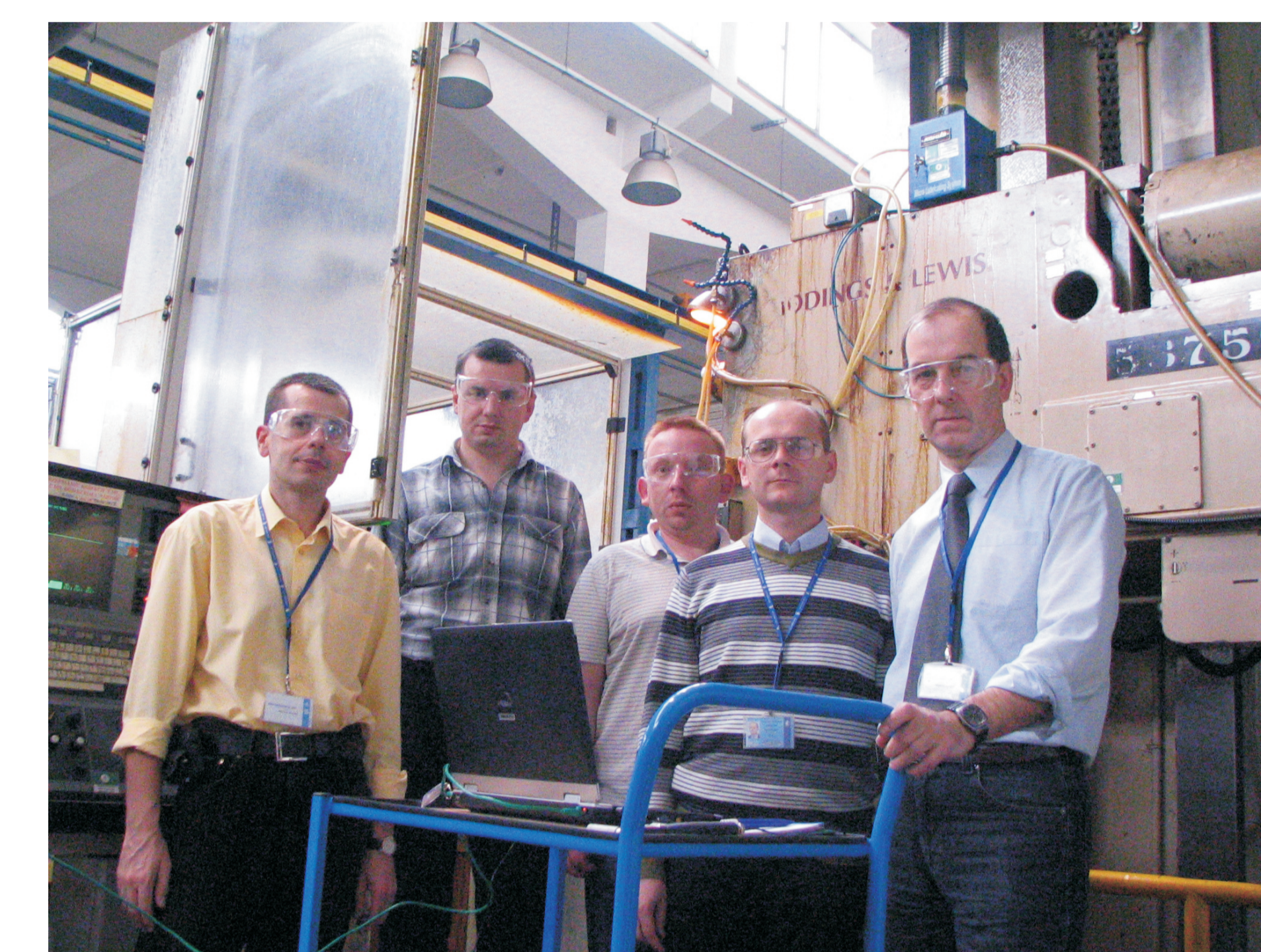
### Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym

#### WSK "PZL-Rzeszów" S.A.

- Skrawanie elementów cienkościennych wykonanych z trudnoobrabialnych stopów
- Analiza modalna elementów cienkościennych wykonanych z trudnoobrabialnych materiałów

#### PZL - Świdnik S.A.

- obróbka materiałów kompozytowych z włóknami szklanymi i węglowymi



### Wskaźniki realizacji celów projektu

#### Referaty

- Chatter In Milling Of Composites: Simulations And Diagnostic, Conference of Supervising and Diagnostics of Machining Systems - Model Based Manufacturing, Karpacz 2011.

#### Publikacje (w tym konferencyjne i w recenzji)

- Rusinek R.: Chatter In Milling Of Composites: Simulations And Diagnostic. *Journal of Machine Engineering*, Vol. 10, No. 3, 2010
- Litak G., Rusinek R.: Vibrations in stainless steel turning: multifractal and wavelet approaches. *JOURNAL OF VIBROENGINEERING*, Vol. 13, Issue 1, 2011. ISSN 1392-8716
- Litak G., Rusinek R.: Dynamics of a Steel Turning Process. *Chaos Theory: Modeling, Simulation and Applications*. C. H. Skiadas, I. Dimitakis and C. Skiadas (Eds) World Scientific Publishing Co (pp. 445 - 448)
- Litak G., Polyakov J.S., Timashev S.F., Rusinek R.: Dynamics of stainless steel turning: Analysis by flicker-noise spectroscopy
- Litak G., Syta A., Rusinek R.: Dynamical changes during composite milling: recurrence and multiscale entropy analysis. *Int J Adv Manuf Technol*. DOI10.1007/s00170-011-3195-8
- Kęćik K., Rusinek R., Warmiński J.: Verification of the stability lobes of Inconel 718 milling. *Int J Adv Manuf Technol*. (w recenzji)

#### Prace mgr, dr, hab.

#### Prace inżynierskie w realizacji

- Sylwester Głogowski: *Wpływ prędkości skrawania na siły podczas frezowania stopu Inconel 617*. Promotor: dr inż. Rusinek Rafał
- Adam Łojewski: *Skrawalność stopu tytanu Ti6Al4V*. Promotor: dr inż. hab. Kazimierz Zaleski

#### Prace doktorskie

Tytuł: *Aktywna eliminacja drgań typu chatter w obróbce skrawaniem*  
Autor: mgr inż. Andrzej Weremczuk  
Promotor: dr hab. Inż. Jerzy Warmiński, prof. PL  
Status: *W trakcie realizacji*

#### Prace habilitacyjne

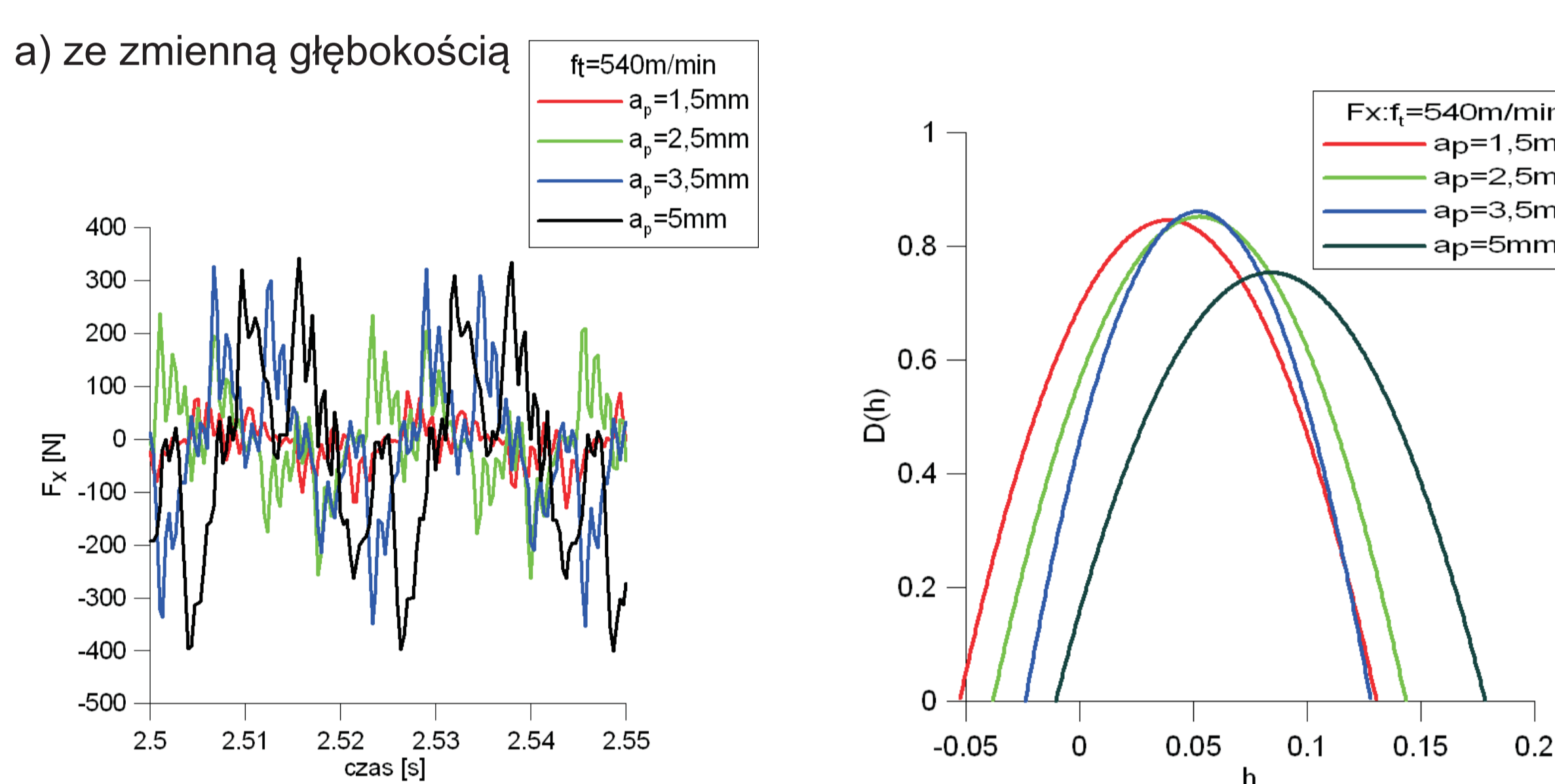
Tytuł: *Zjawiska nieliniowe w obróbce skrawaniem*  
Autor: dr inż. Rafał Rusinek  
Status: *W trakcie realizacji*

#### Uczestnicy wykonawcy

Doktorzy hab.: Jerzy Warmiński, Grzegorz Litak  
Doktoranci: Rafał Rusinek, Krzysztof Kęćik, Marek Borowiec, Andrzej Mitura  
Doktoranci: Andrzej Weremczuk  
Pracownicy techniczni: Bożena Pawłowska, Andrzej Królicki, Andrzej Piekarczyk  
Studenci: Sylwester Głogowski, Adam Łojewski

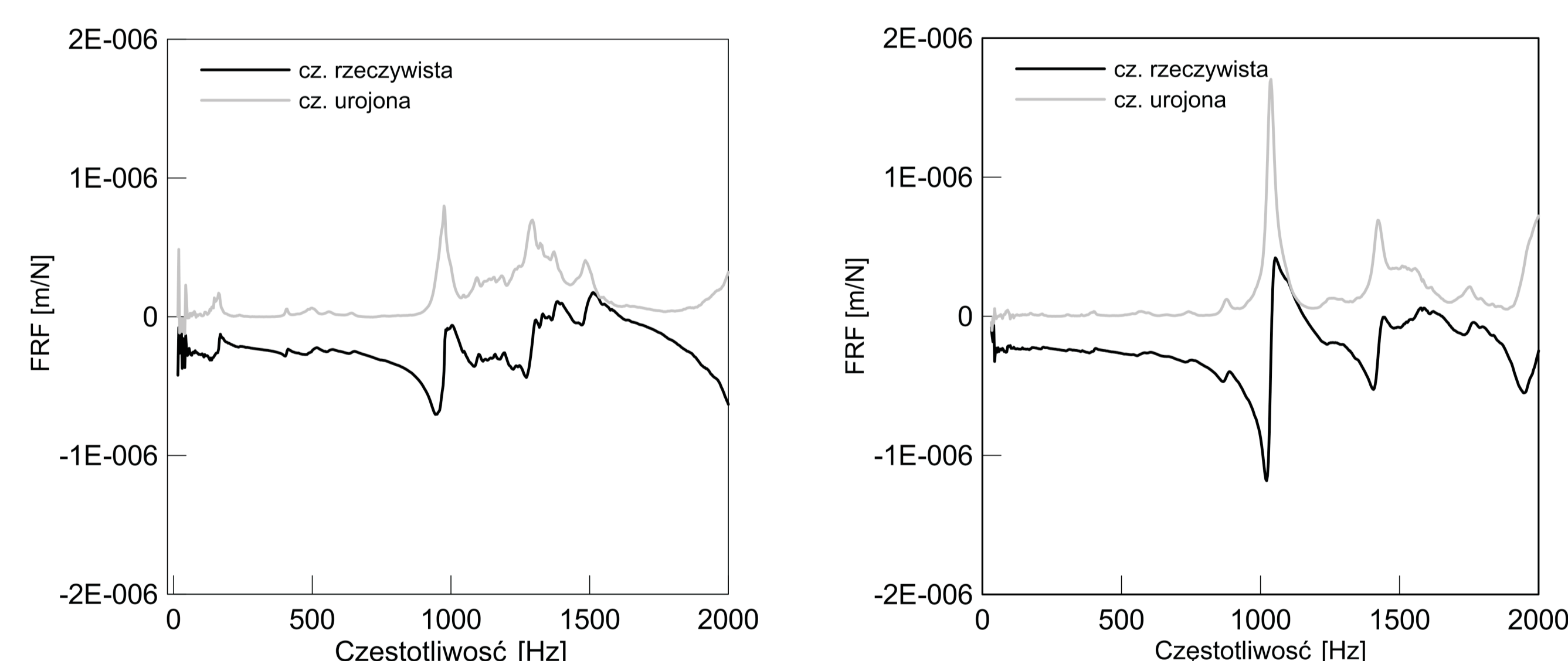
Seminaria naukowe w ramach współpracy z innymi ośrodkami naukowymi  
Spotkanie poświęcone realizacji badań w zadaniach ZB1, ZB2 i ZB5 - 01.06.2011 Łódź

### Analiza multifraktalna - frezowanie stopu tytanu Ti6Al4V

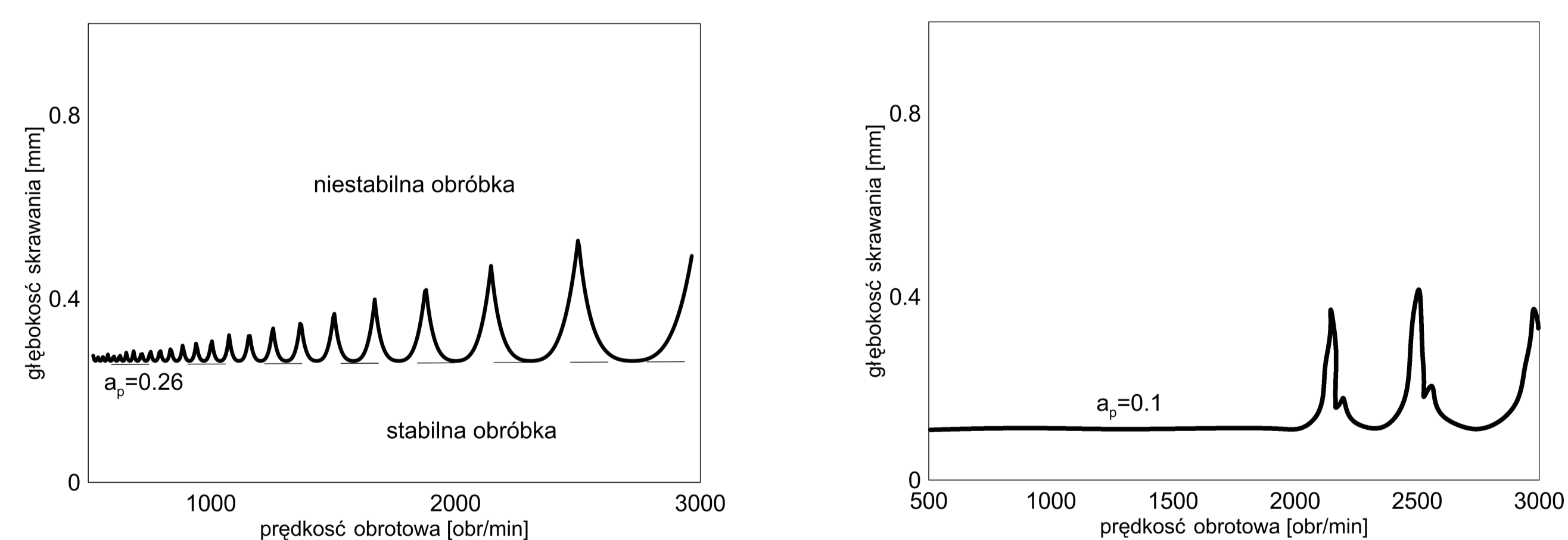


Rys. 2. Przebiegi czasowe siły  $F_x$  (lewa kolumna) i „Singularity spectrum  $D(h)$ ” (prawa strona)

### Frezowanie stopu INCONEL 718 - analiza modalna, krzywe stabilności

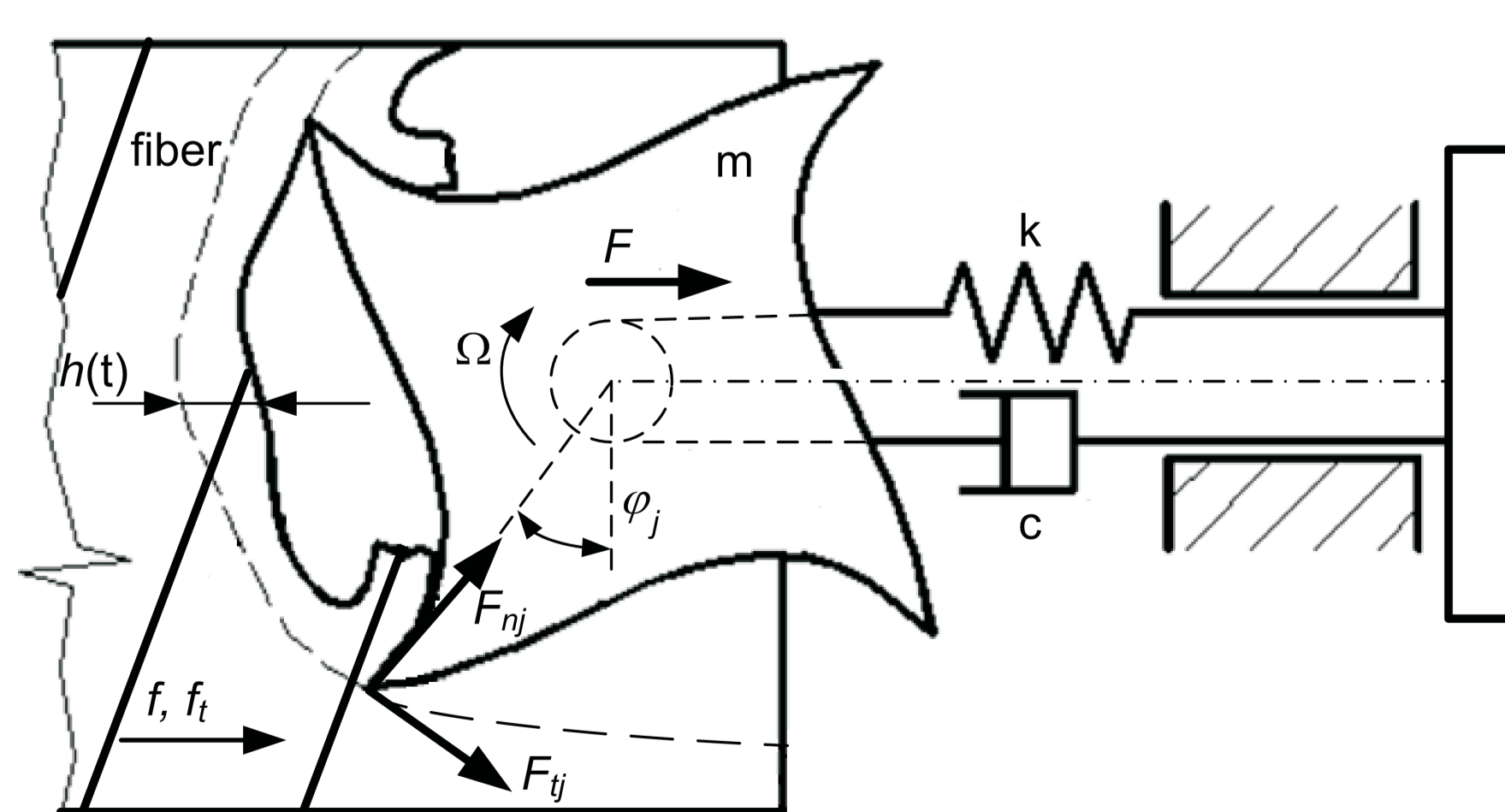


Rys. 3. Widmowa funkcja przejścia, kierunek x (lewa kolumna) i kierunek y (prawa strona)



Rys. 4. Krzywe stabilności procesu frezowania według: analizy modalnej i programu CutPro9 (lewa kolumna); „machinist online” (prawa strona)

### Modelowanie procesu frezowania - model regeneracyjny



Równanie ruchu narzędzia  $m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F$

Rys. 5. Model frezowania o jednym stopniu swobody z efektem regeneracji drgań i okresowo zmiennym oporem skrawania.