

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

Opracowanie zaawansowanych procesów obróbki HSM trudnoobrabialnych stopów lotniczych

Development of advanced processes of HSM of almost unworkable aeronautical alloys

Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Politechnika Łódzka, Politechnika Warszawska

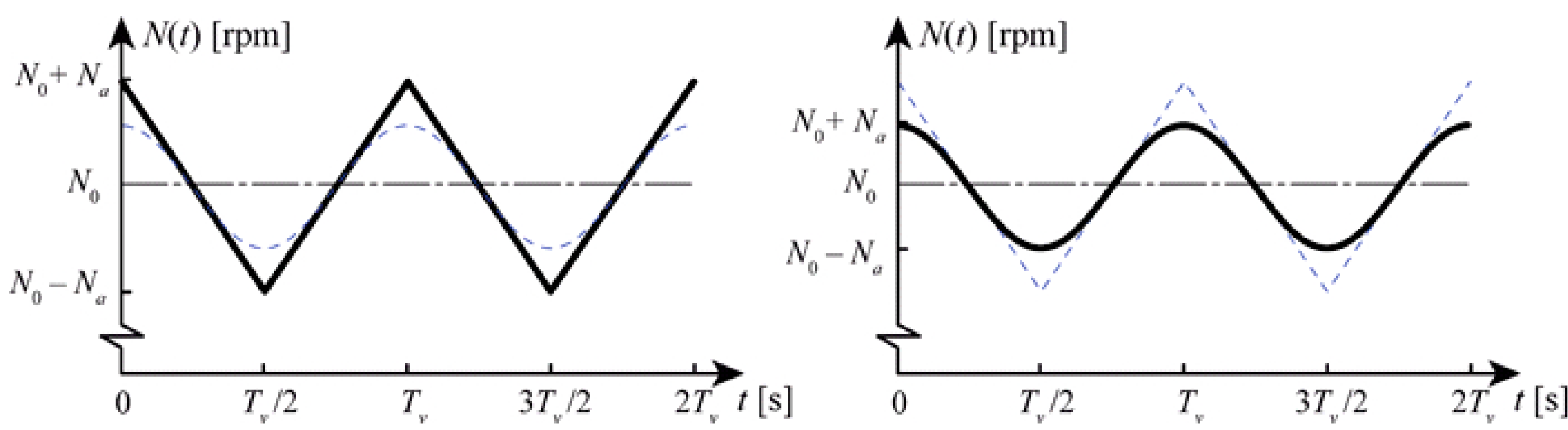
Wyniki badań Results

Eliminacja zjawiska drgań w procesie obróbki materiałów trudnoobrabialnych

The chatter phenomena elimination in machining process of superalloys materials

Chatter is an undesired instability phenomenon, which causes both a reduced product quality and rapid or faster tool wear. Prediction and avoiding of instability in machining is very important, because one can avoid premature tool wear, and obtain a satisfactory surface and finally retain a high productivity. Production of chatter is usually estimated by generative stability lobes diagram (SLD) that rotational speed versus depth of cut partition plane into stable and unstable regions. The regenerative chatter is one of most important causes of instability in the cutting process.

Tłumienie zjawiska drgań za pomocą zmiany prędkości obrotowej wrzeciona SSV, S3V



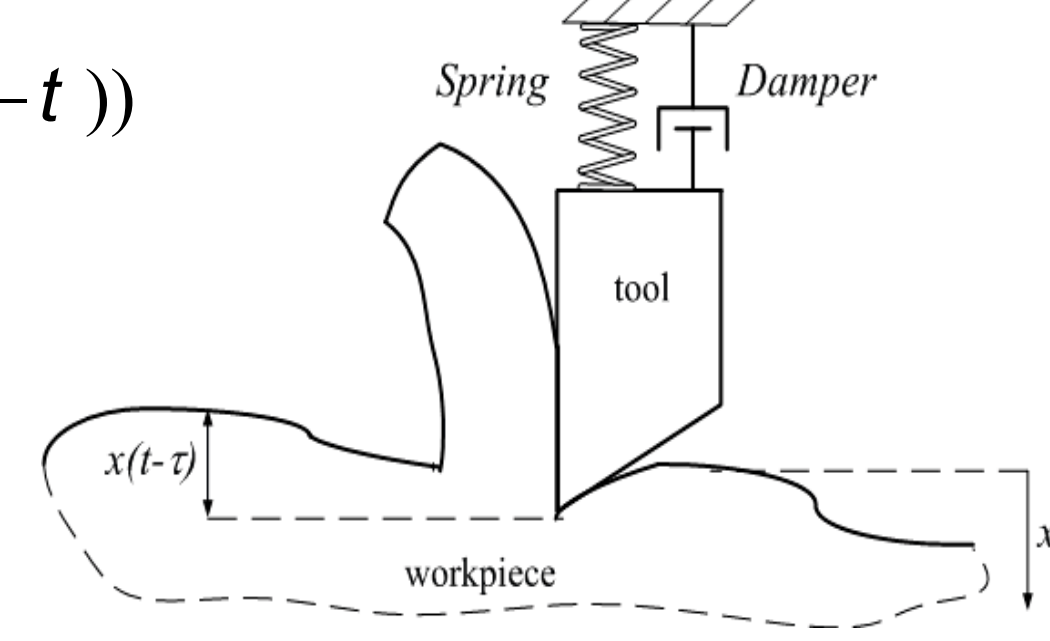
Rys. 1. Wpływ metody SSV i S3V na tolerancję zmiany sił frezowania
Fig. 1. The influence of SSV and S3V method for a deviation of cutting force

Nieliniowy model opisujący powstawanie regeneracyjnej powierzchni karbowanej:

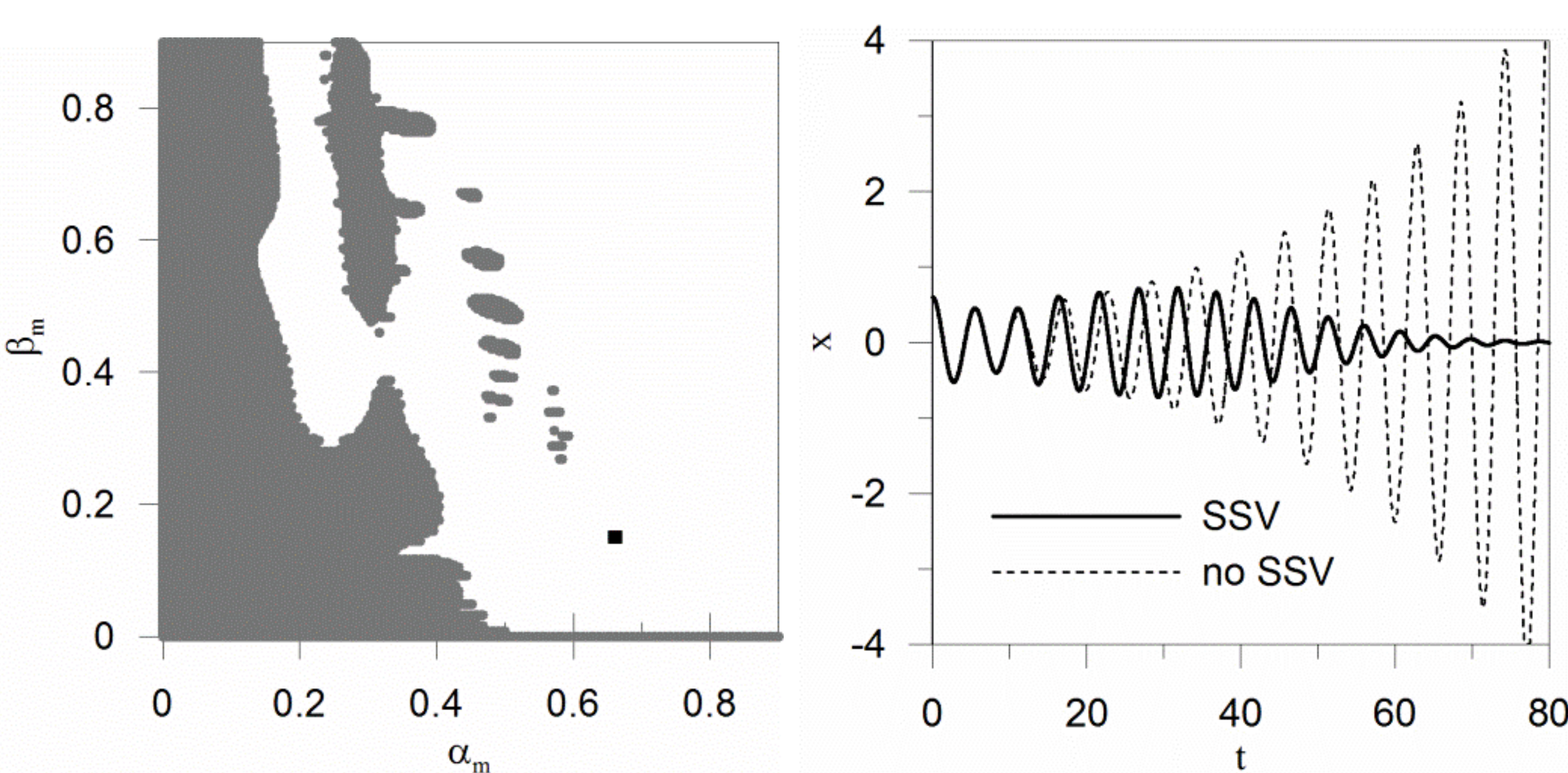
$$x''(t) + dx'(t) + W_0^2 x(t) + g x(t)^3 = a(-x(t) + x(t-t))$$

$$\tau = \frac{1}{\omega} \left(\arctan \frac{-\delta\omega}{\omega_0^2 + \alpha - \omega^2} + j\pi \right)$$

$$\alpha = \frac{-\omega_0^4 - \delta^2 \omega^2 + 2\omega_0^2 \omega^2 - \omega^4}{2(\omega_0^2 - \omega^2)}$$



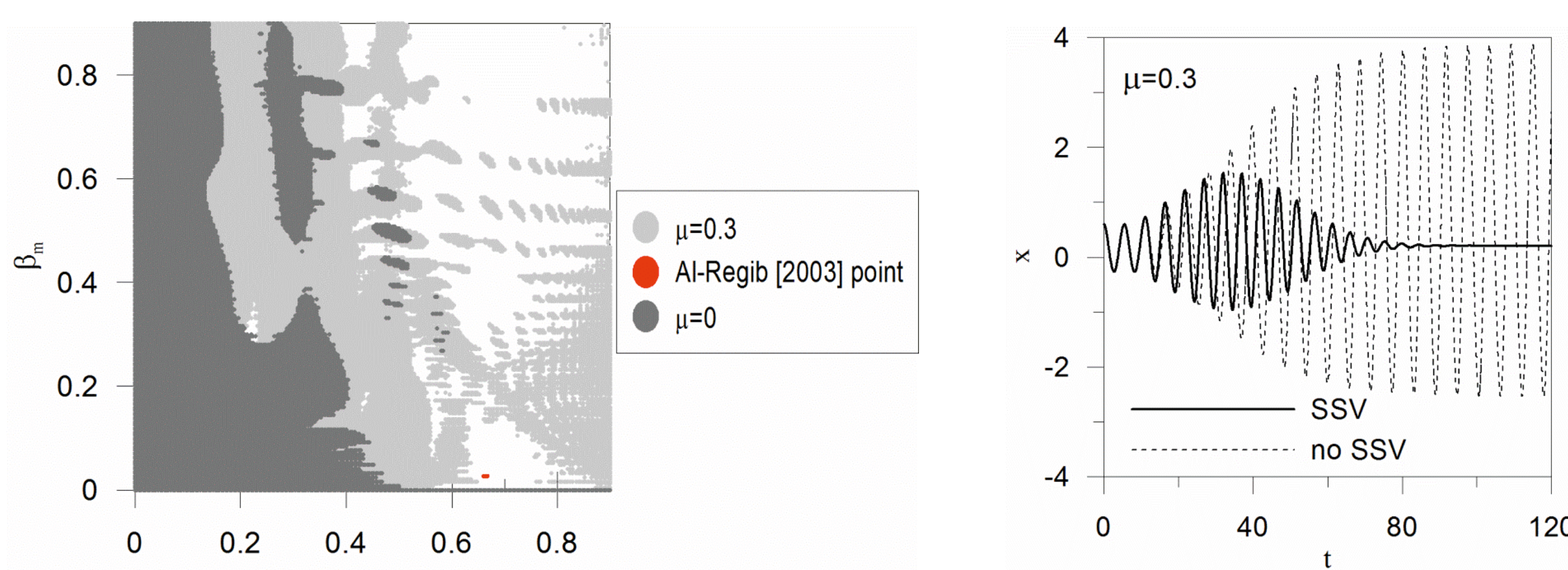
Rys. 2. Model powstawania regeneracyjnej powierzchni karbowanej
Fig. 2. Model of regenerative chatter



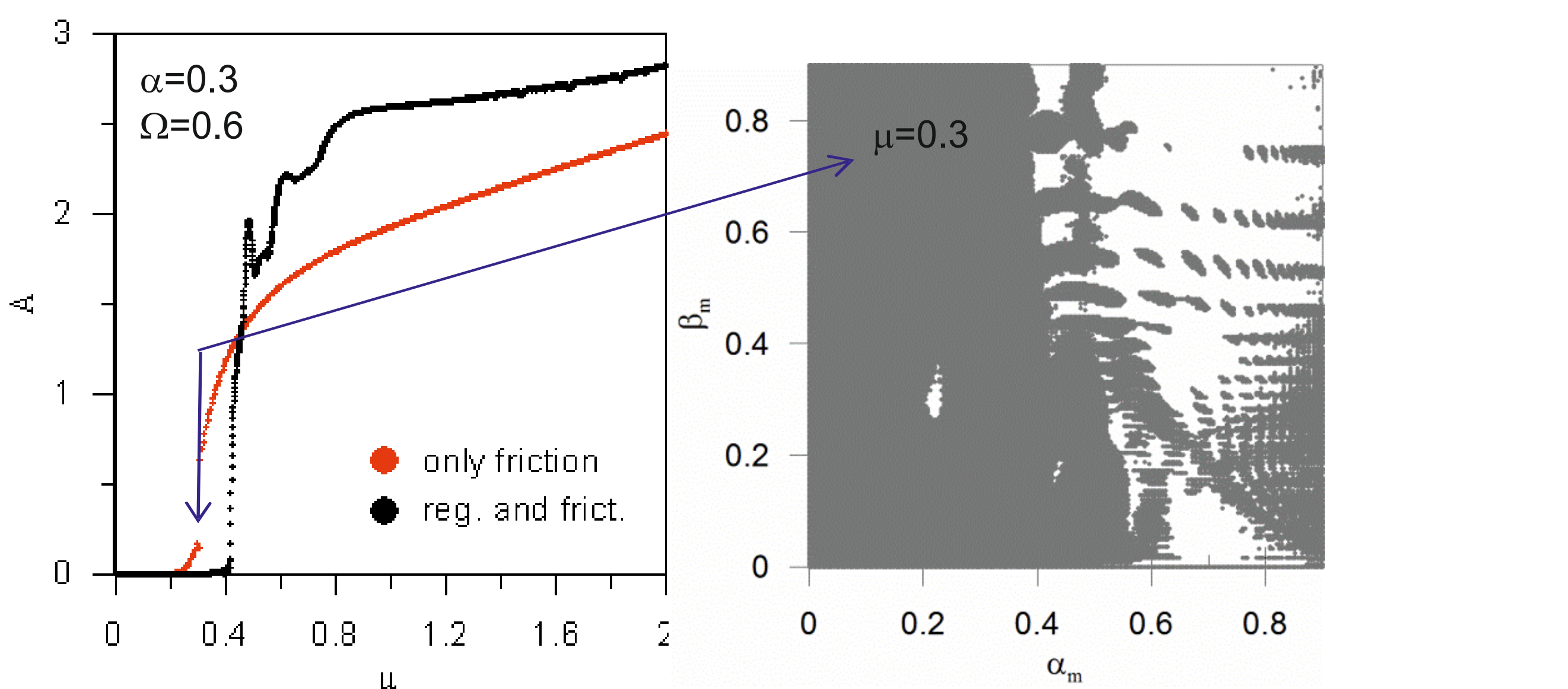
Rys. 3. Mapa parametrów modulacji dla chatteru regeneracyjnego (a); Przebieg czasowy drgań (b)
Fig. 3. Map of SSV parameters for regenerative chatter (a); Time series of vibrations (b)

Nieliniowy model opisujący powstawanie powierzchni karbowanej wskutek tarcia:

$$x''(t) + dx'(t) + W_0^2 x(t) = a(-x(t) + x(t-t)) + m(1 - av_r + bv_r^3)$$



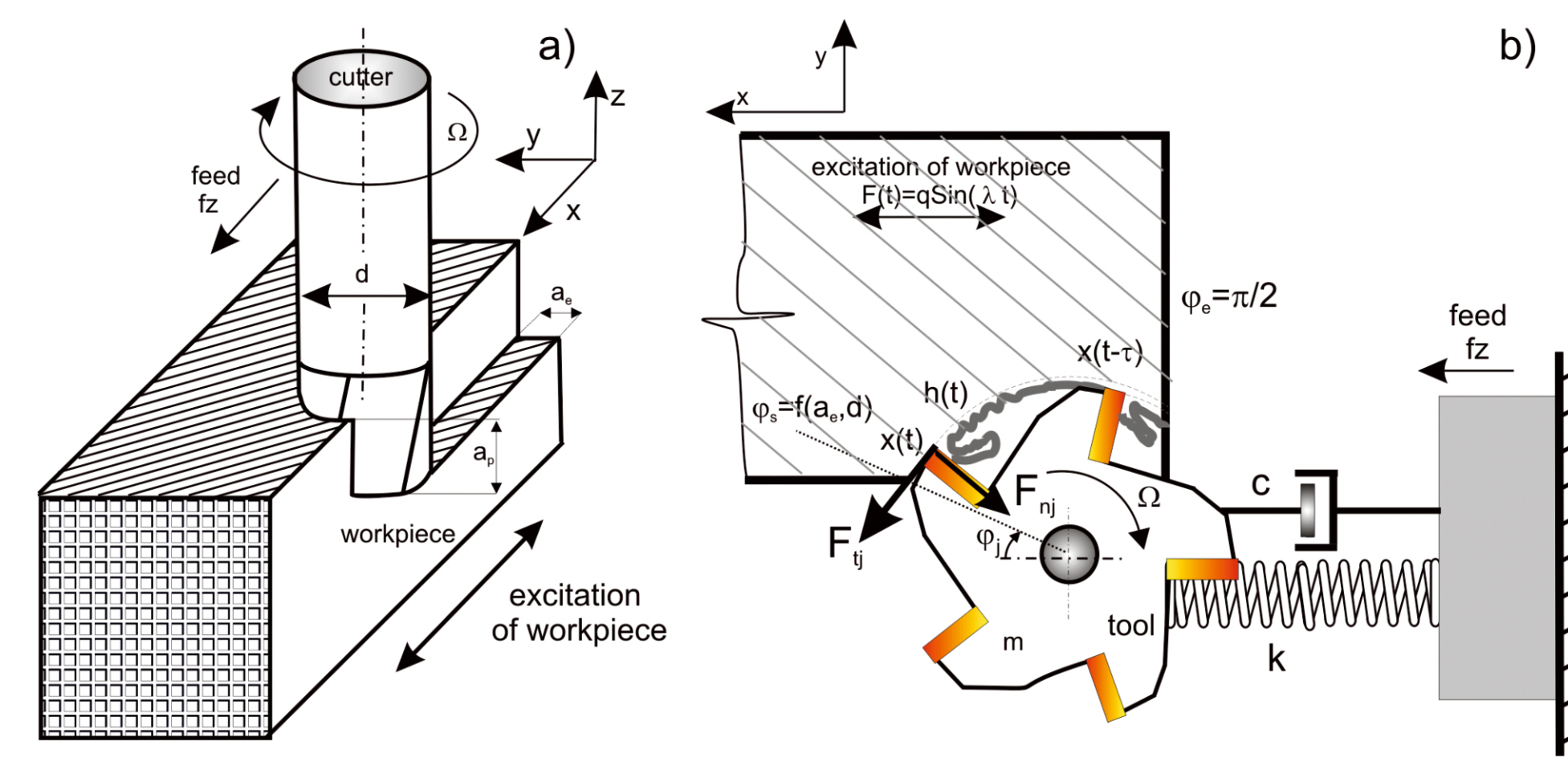
Rys. 4. Mapa parametrów SSV dla chatteru regeneracyjnego i tarcia (a); Przebieg czasowy drgań (b)
Fig. 4. Map of SSV parameters for regenerative and frictional chatter (a); Time series of vibrations (b)



Rys. 5. Wpływ efektu tarcia
Fig. 5. Influence of frictional effect

Eliminacja zjawiska chatter w procesie obróbki materiałów kompozytowych

The chatter phenomena elimination in machining process of composite materials

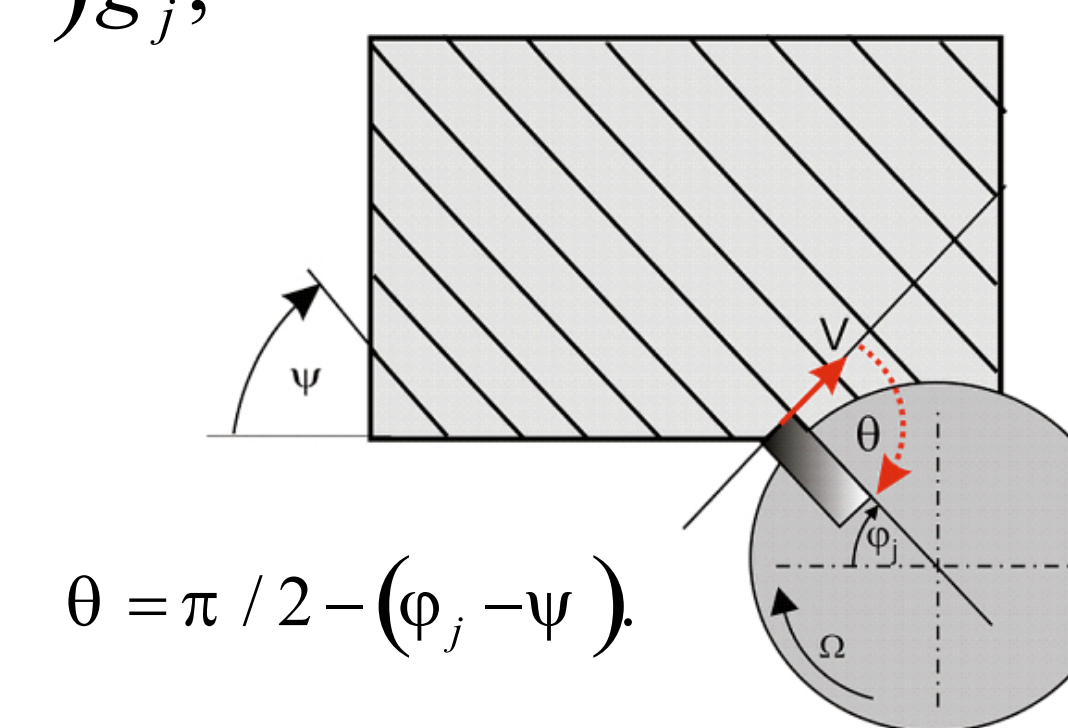


Rys. 6. Model frezowania współbieżnego kompozytu 3D (a) oraz 2D (b) dla kompozytu
Fig. 6. One degree of freedom model of down-milling, 3D (a) and 2D (b) for composite milling

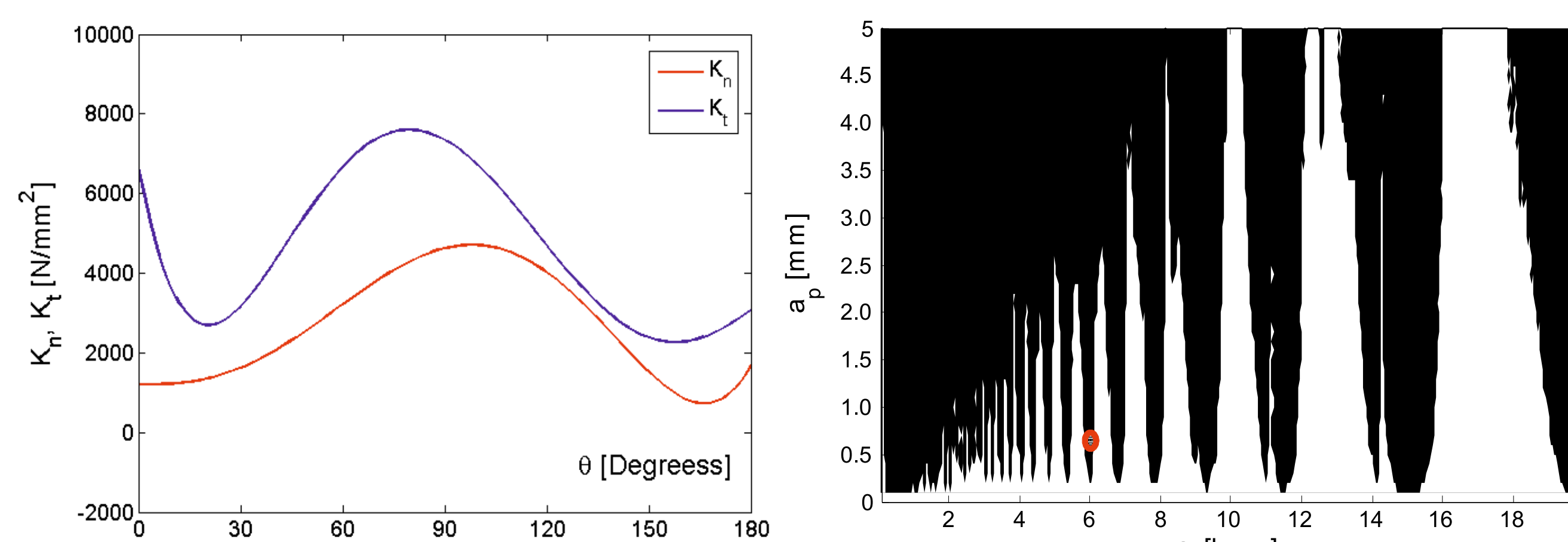
Równanie ruchu modelu frezowania kompozytu:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = a_p h(t)^k (K_t \sin j - K_n \cos j) g_j,$$

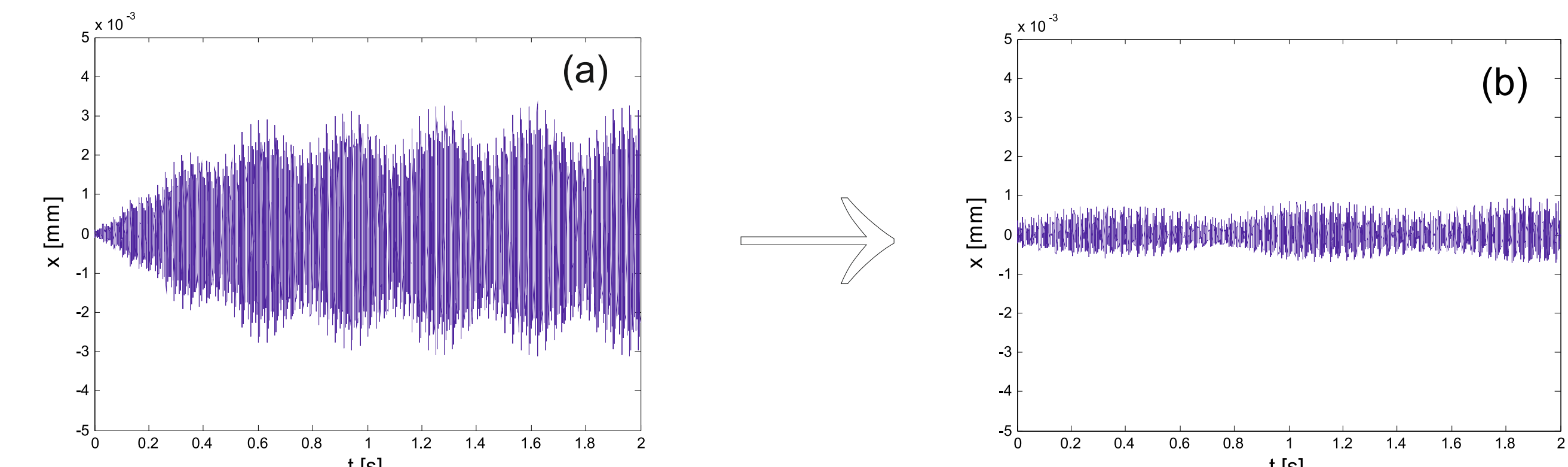
$$h_j = [f_z + x(t) - x(t-\tau)] \cos \varphi_j - q \sin(\lambda t),$$



Rys. 7. Modelowanie orientacji włókien laminatu do analizy procesu frezowania współbieżnego
Fig. 7. Modelling of fibre orientation of unidirectional laminate for down milling process



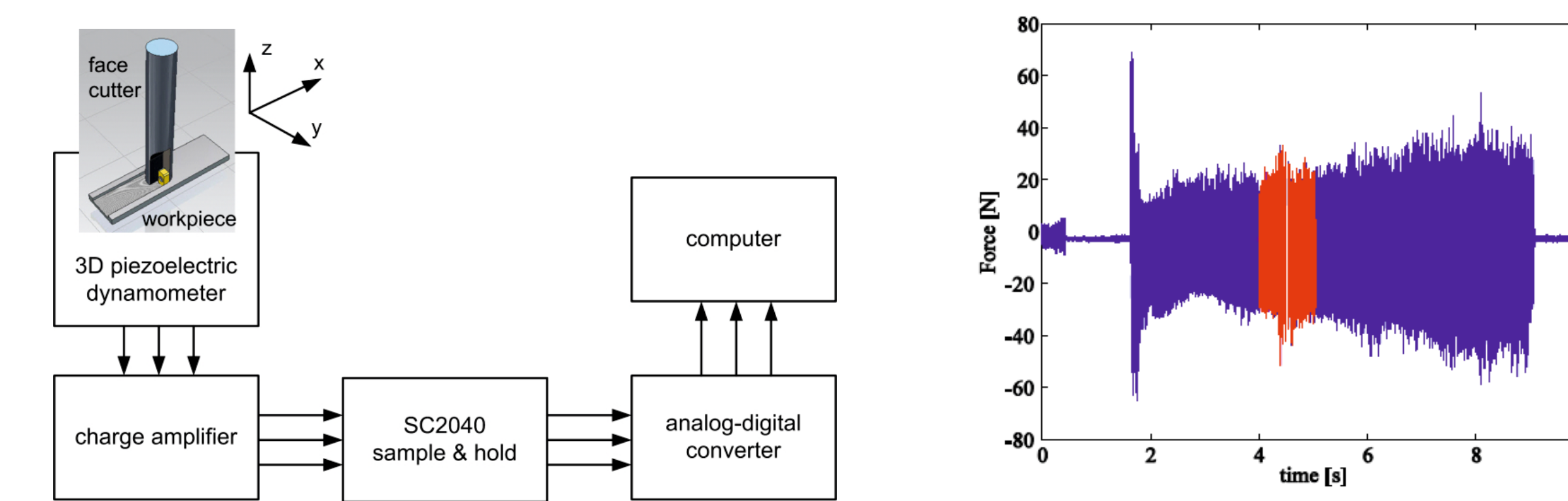
Rys. 8. Zmiana parametrów siły skrawania K_t i K_n ze względu na orientację włókien (a), krzywa workowa frezowania kompozytu dla $\Psi=45^\circ$ (b)
Fig. 8. Variation of specific cutting forces K_t and K_n depending on fibre orientation (a), SLD for composite model for $\Psi=45^\circ$ (b)



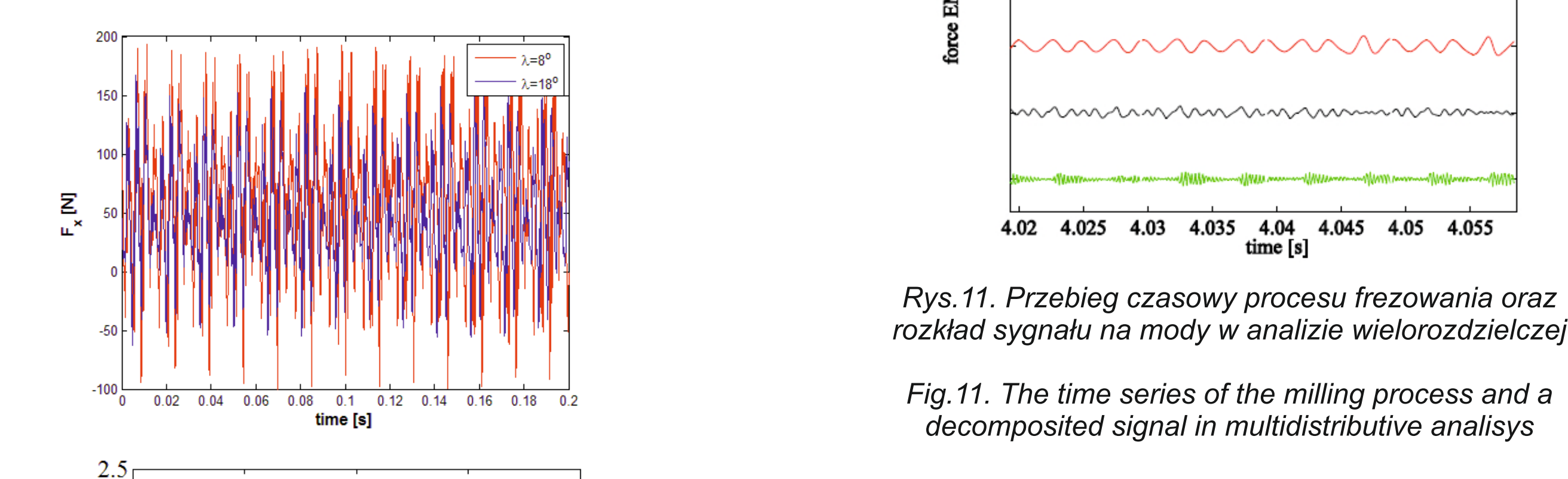
Rys. 9. Przebieg czasowy drgań frezu bez pobudzenia (a) i z pobudzeniem przedmiotu obrabianego (b)
Fig. 9. Time history of tool vibration without activation (a) and activation (b) of workpiece

Zastosowanie analizy wielorozdzielczej oraz entropii wieloskalowej w badaniu doświadczalnych

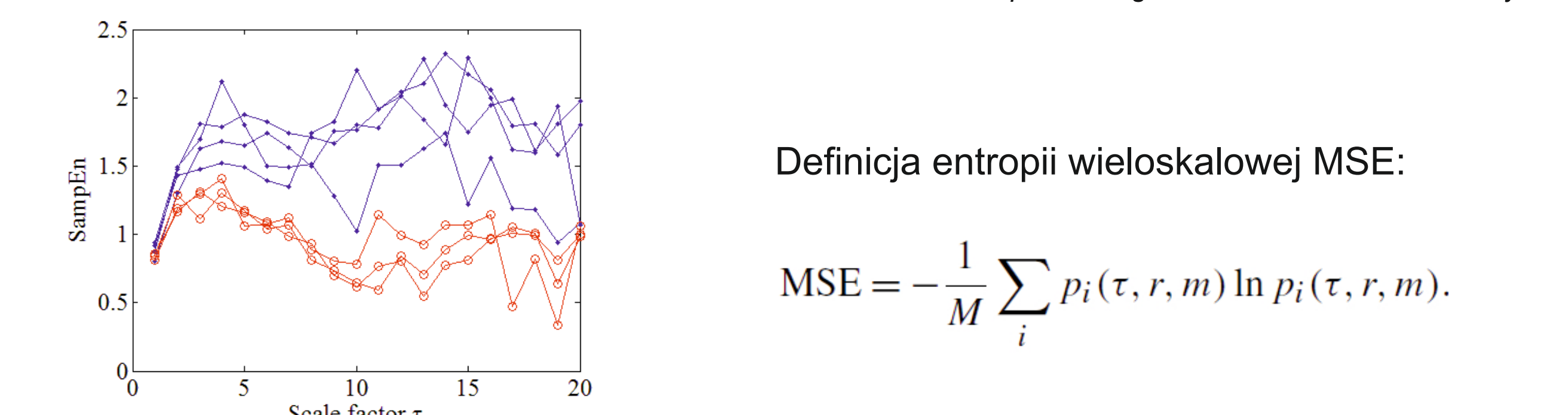
Development of multidistributive and multiscale entropy analysis in experimental research



Rys. 10. Schemat stanowiska i procedury pomiarowej
Fig. 10. The stand scheme and a measurement routine



Rys. 11. Przebieg czasowy procesu frezowania oraz rozkład sygnału na mody w analizie wielorozdzielczej
Fig. 11. The time series of the milling process and a decomposed signal in multidistributive analysis



Rys. 12. Przebieg sił frezowania dla różnych geometrii frezu oraz wykresy entropii wieloskalowej dla powyższych przebiegów
Fig. 12. The time series of milling force for different geometries of tools and the plots of MSE for corresponding tool data

Definicja entropii wieloskalowej MSE:

$$MSE = -\frac{1}{M} \sum_i p_i(\tau, r, m) \ln p_i(\tau, r, m).$$

$$F_j^{(\tau)} = \frac{1}{\tau} \sum_{i=j}^{\tau} F_i$$

Uśredniona wartość siły frezowania z uwzględnieniem współczynnika skali τ

Wnioski Conclusions

Do badania dynamiki procesu skrawania stosowano zaawansowane metody, które pozwalają dokładniej niż dotychczas poznać zjawiska występujące podczas obróbki, zwłaszcza szybkościowej, materiałów stosowanych w przemyśle lotniczym. *New methods of dynamics analysis are used to investigate cutting process in aviation*

- analiza falkowa (wavelets)
- wykresy rekurencyjne (recurrence plots)
- metoda dekompozycji Hilberta - Huang (Hilbert - Huang decomposition)

Badania numeryczne przeprowadzone na modelu procesu skrawania z efektem regeneracyjnym i tarciovym działającym jednocześnie wykazały, że metoda spindling speed variation (SSV) może w pewnych warunkach eliminować drgania powstałe w wyniku działania obu tych efektów. *Analysis of regenerative and frictional effect which act simultaneously shows that it is possible to suppress chatter both types of chatter*

Klasyczny model skrawania nie może być stosowany w przypadku materiałów kompozytowych wzmocnionych włóknem. *Classical cutting model cannot be used in case of composite materials fiber reinforced*

Przykłady zastosowania w lotnictwie

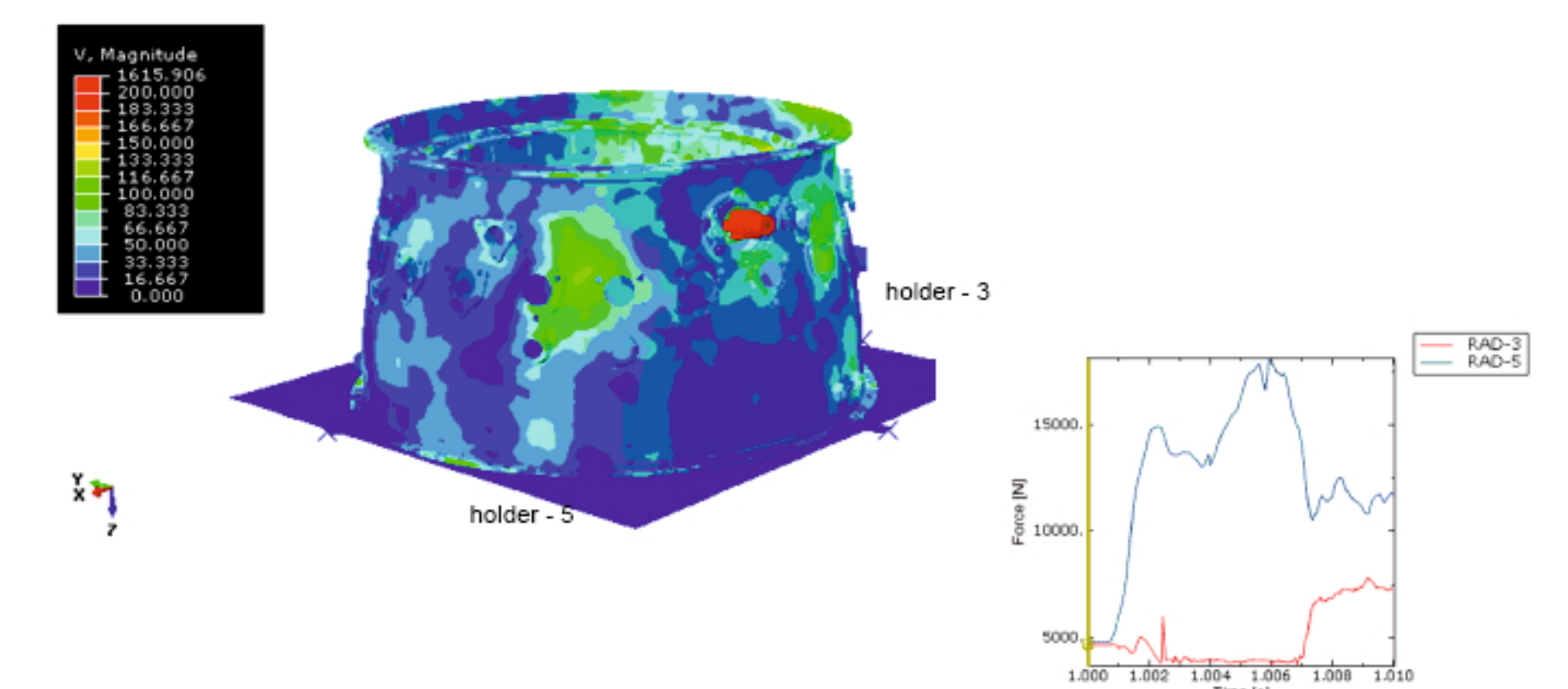
Examples of application in aviation



Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym

Collaboration with aviation industry

- WSK "PZL-Rzeszów" SA - Skrawanie elementów cienkościennych wykonanych z trudnoobrabialnych stopów lotniczych. Celem badań jest uzyskanie lepszej dokładności wymiarowo - kształtowej elementu obrabianego a także skrócenie czasu obróbki
- WSK "PZL-Rzeszów" SA - Cutting of thin - walled elements made of superalloys. The main aim: improvement of machinability



Wskaźniki realizacji celów projektu

Indicators of the project

Referaty

- Weremczuk A., Kećik K., Rusinek R., Warmiński J.: "Dynamics and analysis of cutting process" February 6, 2012 Lublin, Poland. Workshop on Research achievements and planned investigations within 7.FP CEMCAST project.
- Rusinek R., Kećik K., Warmiński J., Weremczuk A.: „Dynamic Model of Cutting Process with Modulated Spindle Speed” CNPAA Congress: Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Science. 10.07 - 14.07.2012 Vienna University of Technology.
- Litak G., Rusinek R.: "Identification of Turning and Milling Processes by Stochastic Langevin Equations" 4th IEEE International Conference on Nonlinear Science and Complexity, Budapest 06-11.08.2012 Budapest

Publikacje

- Rusinek R., Warmiński J., Weremczuk A.: *Regenerative model of cutting process with nonlinear Duffing oscillator*. *Mechanics and Mechanical Engineering*, 2011/2, vol.15 No. 4
- Litak G. and Rusinek R., *Dynamics of a Stainless Steel Turning Process by Statistical and Recurrence Analyses*, *Meccanica* (2012) 47:1517:1526 DOI: 10.1007/s11012-011-9534-x.
- Litak G., Schubert S., and Radons G., *Nonlinear Dynamics of a Regenerative Cutting Process*, *Nonlinear Dynamics* (2012) 69: 1255:1262, DOI: 10.1007/s11071-012-0344-z.
- Litak G., Kećik K. and Rusinek R., *Cutting Force Response in Milling of Inconel: Analysis by Wavelet and Hilbert-Huang Transforms*, *Latin American Journal of Solids and Structures* (2012) w druku
- Kećik K., Rusinek R., Warmiński J.: *Modeling of high-speed milling process with frictional effect*. *Journal of Multi-body Dynamics*, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part K*, DOI: 10.1177/1464419312458636
- Rusinek R.: *Stability criterion for aluminium alloy milling expressed by recurrence plot measures*. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B, Journal of Engineering Manufacture*, DOI: 10.1177/0954405412462779
- Sen A.K., Litak G., Syta A., Rusinek R., *Intermittency and Multiscale Dynamics in Milling of Fiber Reinforced Composites*, *Meccanica*, 2012, DOI: 10.1007/s11012-012-9631-5
- Rusinek R., Kećik K., Warmiński J., Weremczuk A., *Dynamic model of cutting process with modulated spindle speed*, *AIP Conference Proceedings*, Vol. 1493, No. 1, pp. 805-809

Prace inż., mgr, dr, hab.

- Przemysław Zdeb: *Wpływ prędkości posuwowej na wartość siły skrawania podczas frezowania kompozytu w włóknem węglowym*. Promotor: dr inż. Rafał Rusinek

Prace inżynierskie planowane

- Małgorzata Jeleniewska: *Wpływ prędkości skrawania na wartość sił podczas toczenia ortogonalnego - badania modelowe*. Promotor: dr inż. Rafał Rusinek
- Piotr Przech: *Wpływ głębokości skrawania na wartość sił podczas toczenia ortogonalnego - badania modelowe*. Promotor: dr inż. Rafał Rusinek
- Marta Cichosz: *Badania procesu wiercenia materiałów kompozytowych stosowanych w przemyśle lotniczym*. Promotor: dr inż. Rafał Rusinek

Prace doktorskie

- Tytuł: *Analiza drgań nieliniowych układów mechanicznych z opóźnieniem czasowym*
Autor: mgr inż. Andrzej Weremczuk
Promotor: prof. dr hab. inż. Jerzy Warmiński, Promotor pomocniczy: dr inż. Rafał Rusinek
Status: *przewód doktorski otwarty 23.05.2012*

Prace habilitacyjne

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