

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

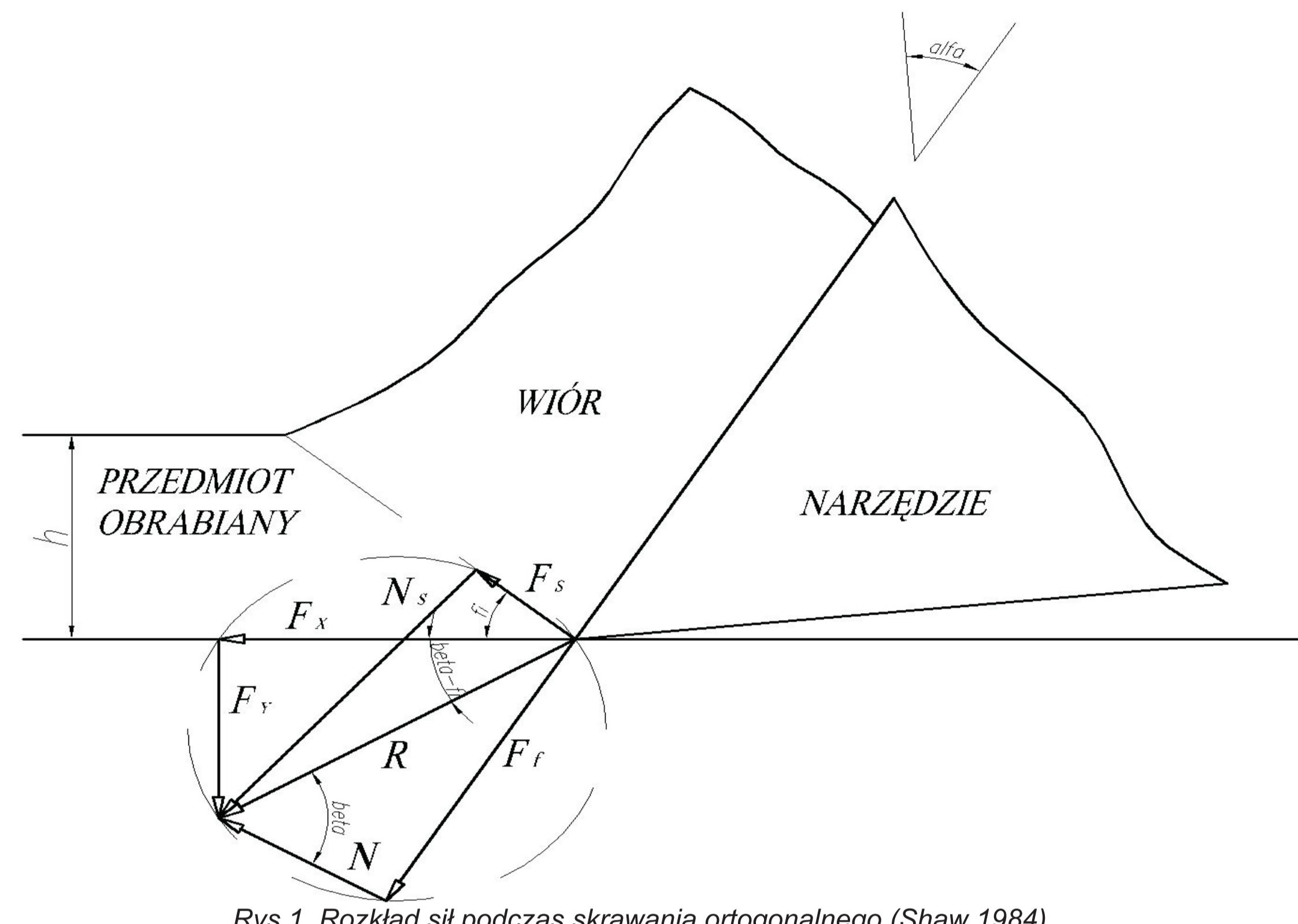
Modern material technologies in aerospace industry

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

1) Symulacje numeryczne procesu skrawania
The numerical simulations of machining process
a) toczenie
turning



Rys.1. Rozkład sił podczas skrawania ortogonalnego (Shaw 1984)

Fig.1. The forces decomposition during orthogonal machining (Shaw 1984)

Równanie ruchu:

$$\ddot{x} + 2\xi\dot{x} + p^2(x + \beta_2x^2 + \beta_3x^3) = -p^2w[x - x_t + \alpha_2(x - x_t)^2 + \alpha_3(x - x_t)^3]$$

Wprowadzone rozwinięcia funkcji występujących w równaniu ruchu:

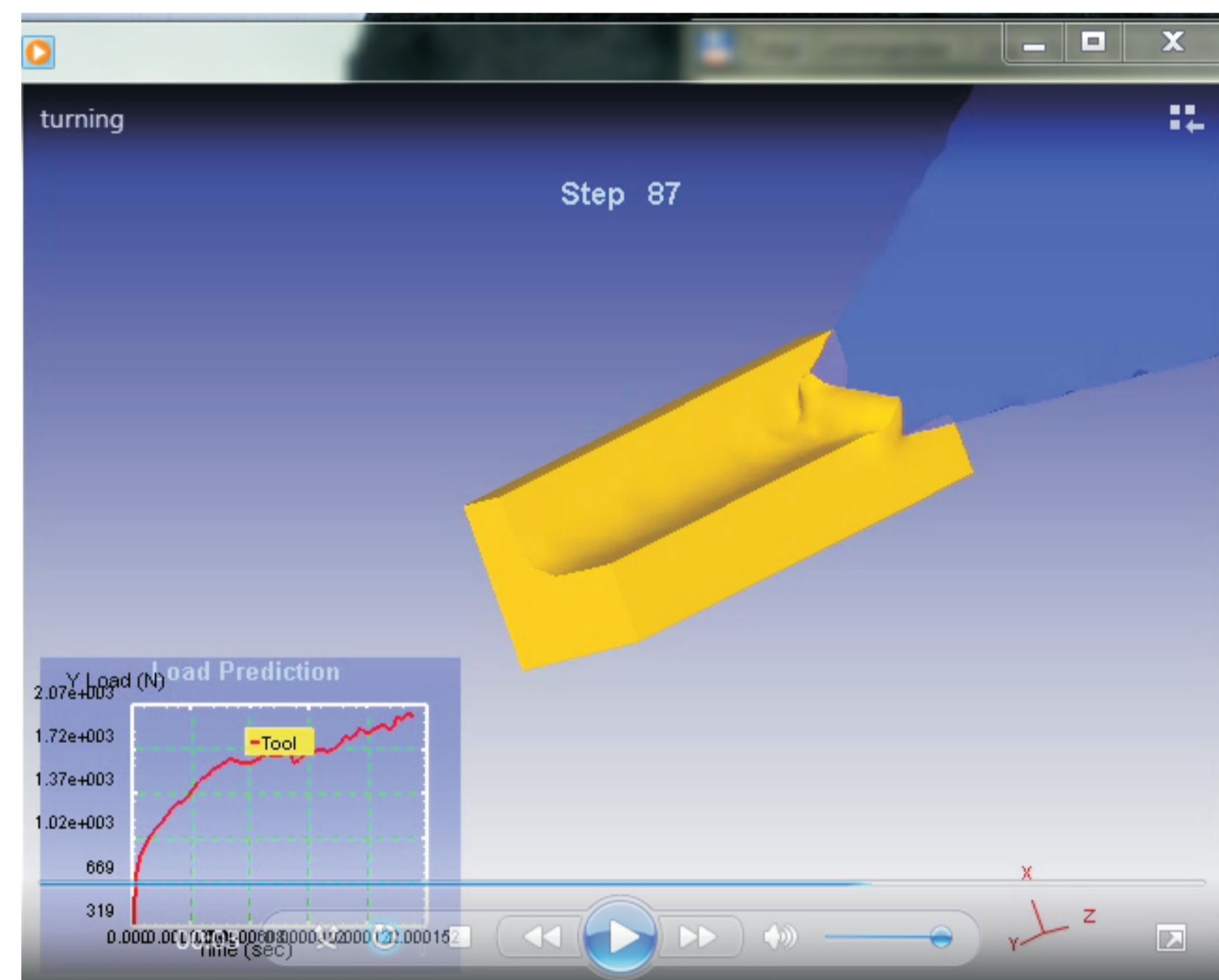
$$x = \varepsilon x_1(T_0, T_2) + \varepsilon^2 x_2(T_0, T_2) + \varepsilon^3 x_3(T_0, T_2)$$

$$x_t = \varepsilon x_{1t}(T_0, T_2) + \varepsilon^2 x_{2t}(T_0, T_2) + \varepsilon^3 x_{3t}(T_0, T_2)$$

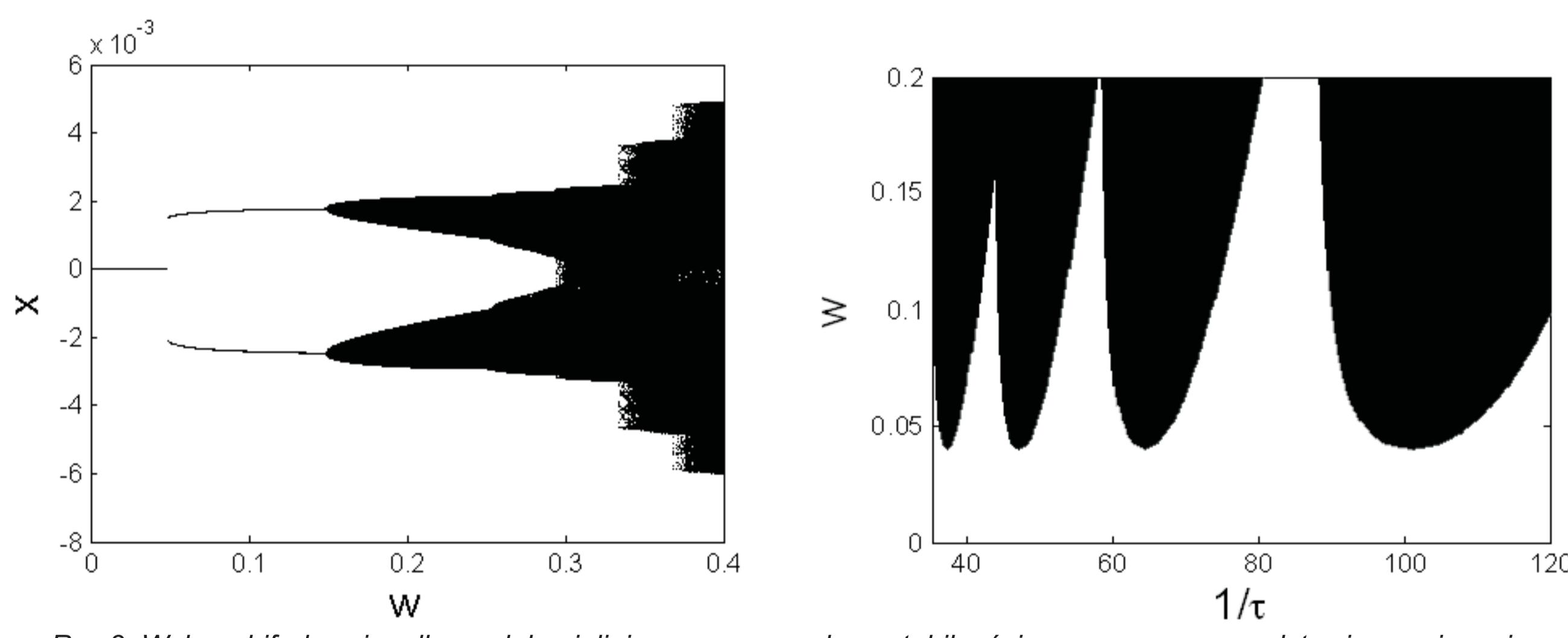
Równania modulacyjne:

$$\dot{a} = -\frac{p^2}{2(\xi^2 + \omega_c^2)} [\xi(1 - \cos \omega_c t) + \omega_c \sin \omega_c t] w_2 a - \frac{1}{8(\xi^2 + \omega_c^2)} (\xi \Lambda_r + \omega_c \Lambda_i) a^3$$

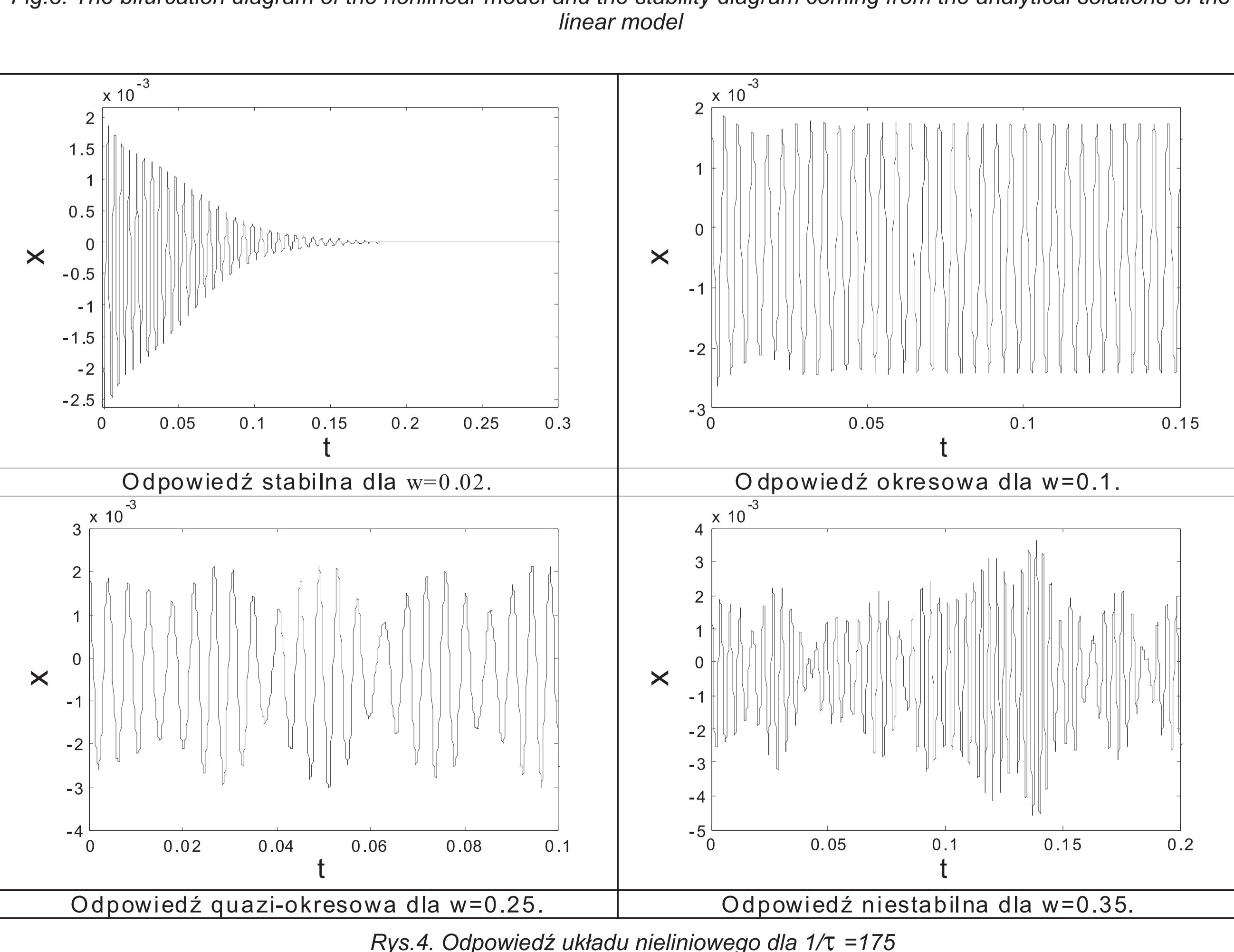
$$a\dot{\beta} = -\frac{p^2}{2(\xi^2 + \omega_c^2)} [\xi \sin \omega_c t - \omega_c (1 - \cos \omega_c t)] w_2 a - \frac{1}{8(\xi^2 + \omega_c^2)} (\xi \Lambda_i - \omega_c \Lambda_r) a^3$$



Rys.2. Analiza procesu skrawania metodą elementów skończonych
Fig.2. The cutting process analysis by means of finite element method



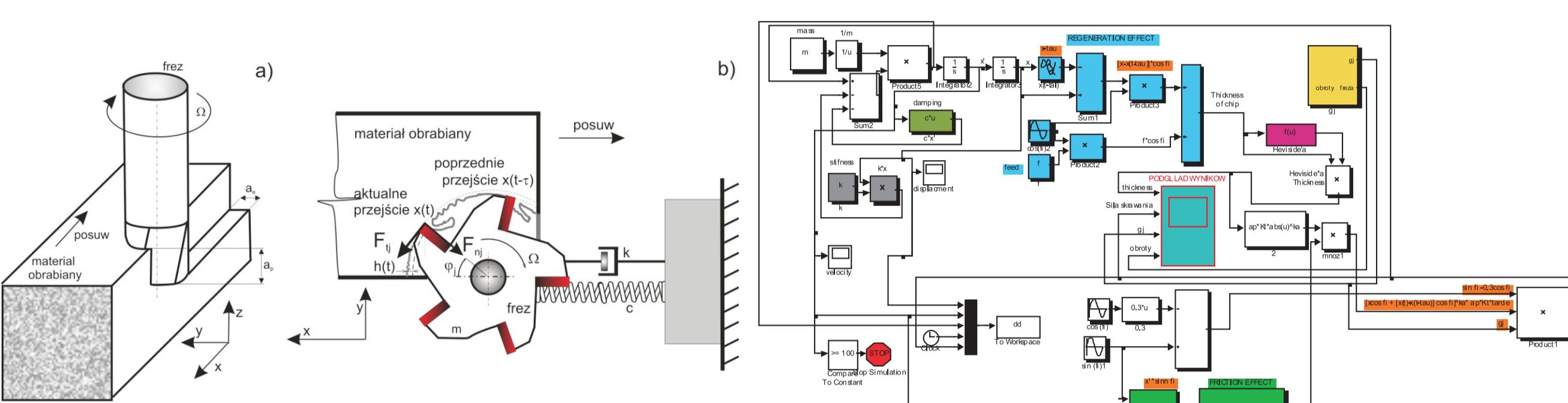
Rys.3. Wykres bifurkacyjny dla modelu nieliniowego oraz wykres stabilności wyznaczony na podstawie rozwiązania analitycznego modelu liniowego
Fig.3. The bifurcation diagram of the nonlinear model and the stability diagram coming from the analytical solutions of the linear model



Rys.4. Odpowiedź układu nieliniowego dla $1/\tau = 175$
Fig.4. The response of the nonlinear system by $1/\tau = 175$

Wyniki badań
Results

b) frezowanie - efekt chatter'u tarciowy i regeneracyjny
milling - the phenomena of a frictional and a regeneration chatter



Rys.5. Model frezowania współbieżnego: widok 3D i 2D (a) oraz numeryczny model (b)

$$F_j = (F_y \sin \varphi_j - F_n \cos \varphi_j) g_j,$$

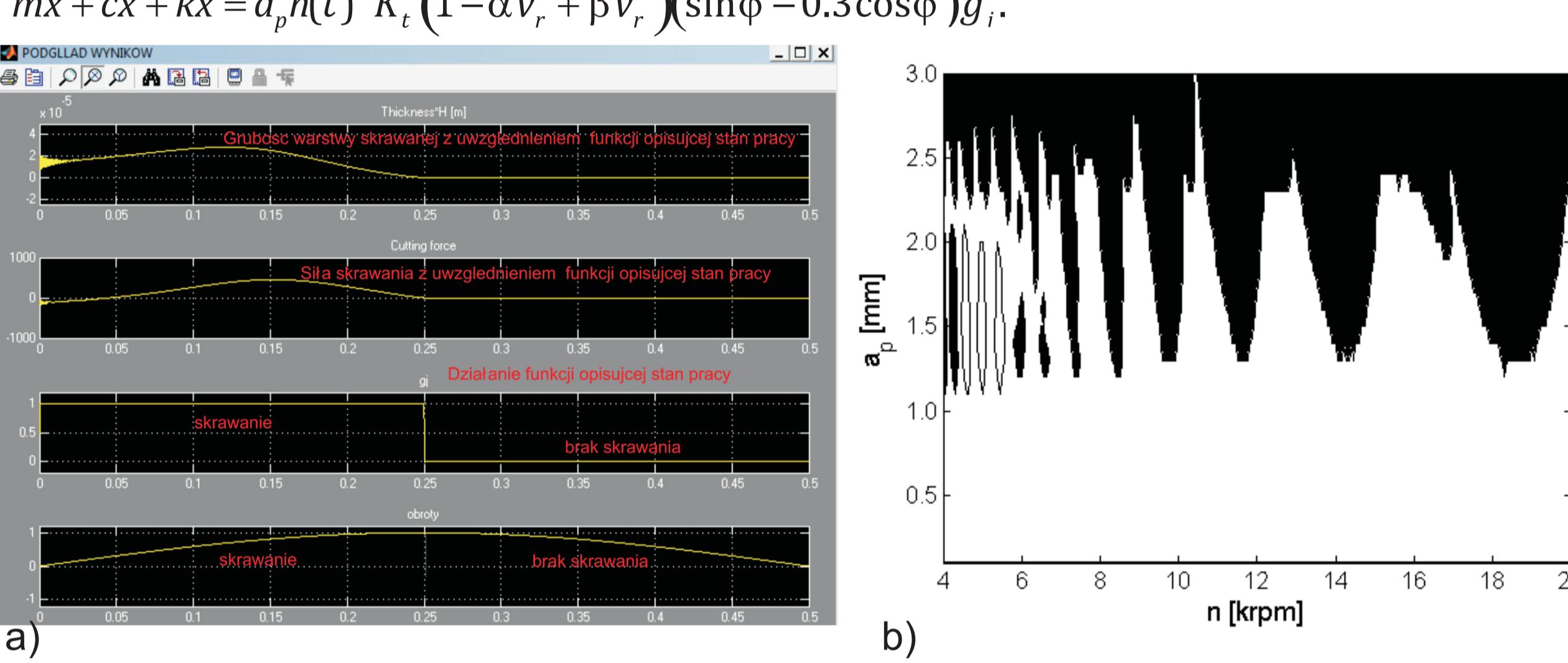
$$g_j = H(\sin \varphi_j) H(\cos \varphi_j - \cos \varphi_e),$$

$$h_j(t) = h_{j,STAT}(t) + h_{j,DW}(t),$$

$$h_j(t) = f_j \cos \varphi_j + (x(t) - x(t-\tau)) \cos \varphi_j,$$

Dynamiczne równanie ruchu modelu przedstawionego na rys. 5:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = a_p h(t)^c K_1 (1 - \alpha v_r + \beta v^2) (\sin \varphi - 0.3 \cos \varphi) g_j.$$

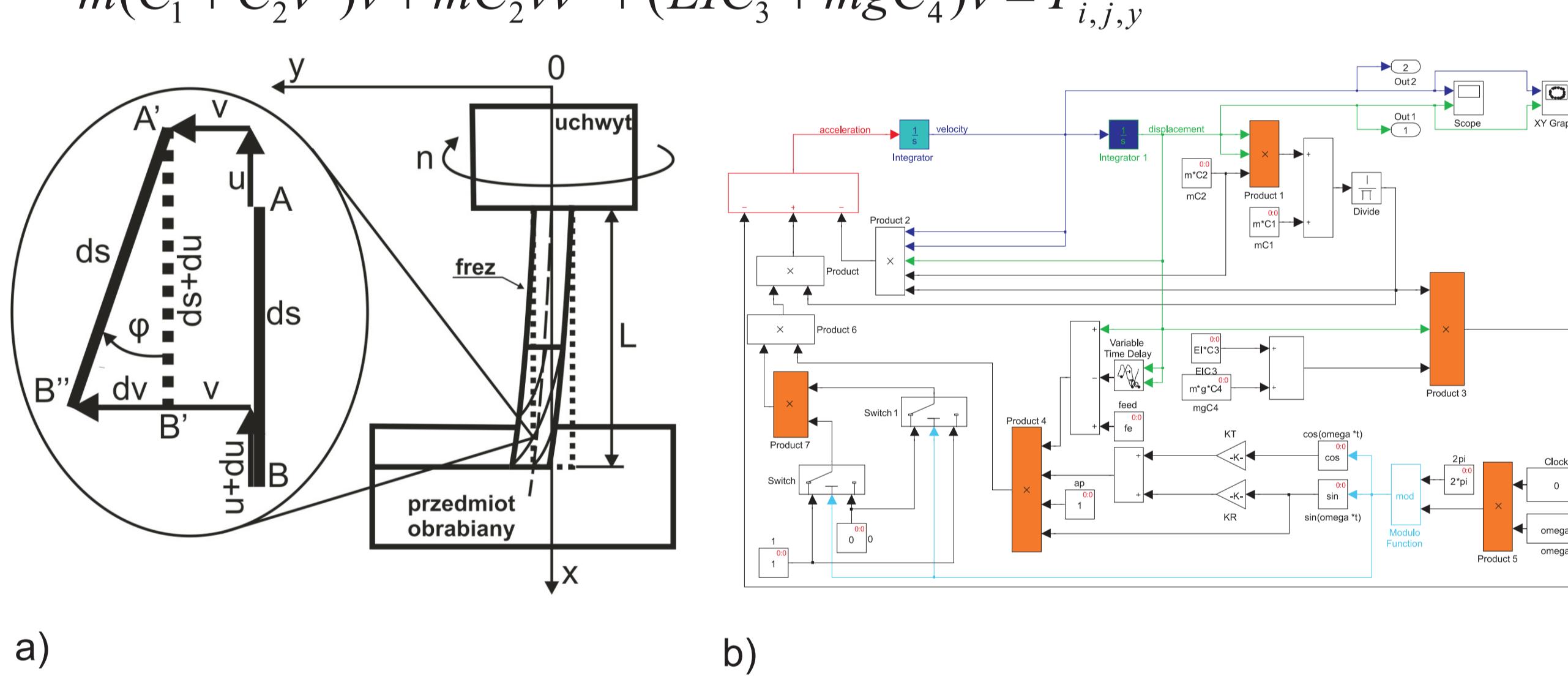


Rys.6. Parametry i siły skrawania (a) oraz krzywa stabilności dla modelu z chatterem regeneracyjnym i tarciowym (b)
Fig.6. The parameters and cutting forces (a), the stability curve in the model by regeneration and frictional chatter phenomena

c) frezowanie - model frezu jako układu ciągłego
milling - a tool model as a continuous system

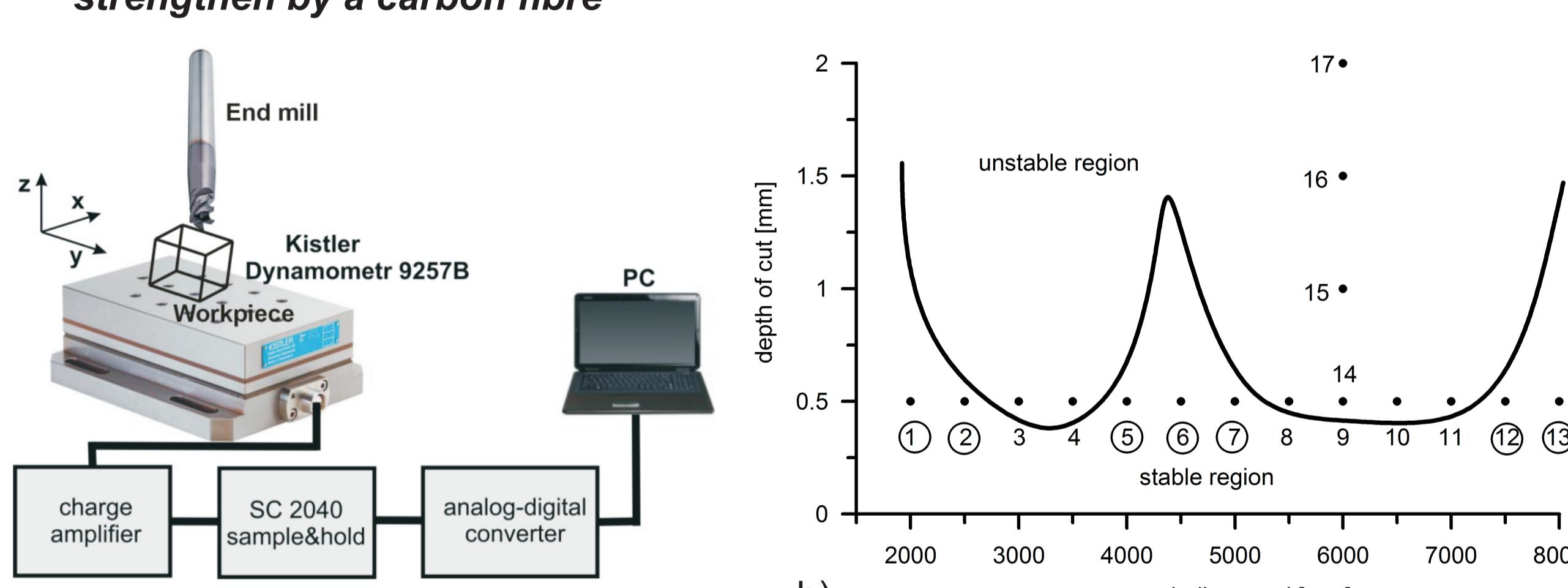
Dynamiczne równanie ruchu narzędziwa (rys. 7):

$$m(C_1 + C_2 v^2)\ddot{v} + mC_2 v\dot{v}^2 + (EIC_3 + mgC_4)v = F_{i,j,y}$$

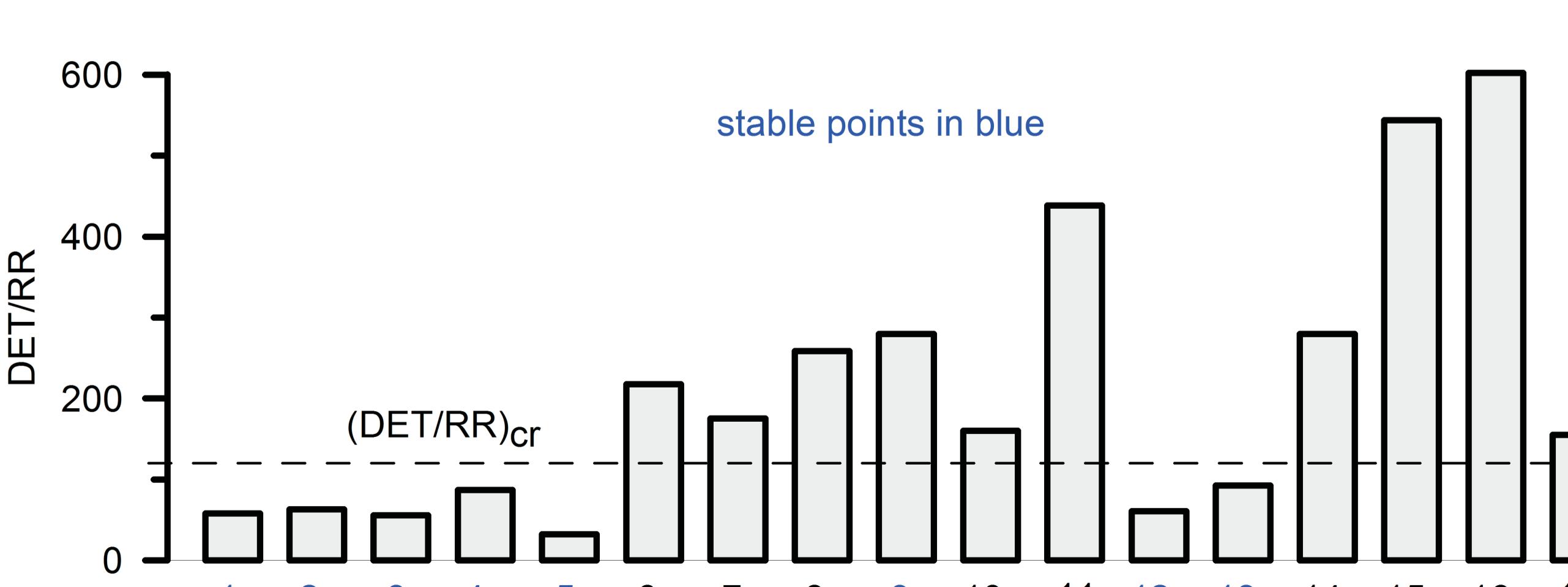


Rys.7. Schemat odkształceń narzędzia w procesie frezowania (a) oraz model do analiz numerycznych (b)
Fig.7. The scheme of a tool deformation (a) and its model assembled in Matlab/Simulink (b)

d) frezowanie materiałów kompozytowych na przykładzie kompozytu epoksydowo - polimerowego wzmacnianego włóknem węglowym
the milling of composite materials using an epoxide - polymer composite strengthened by a carbon fibre



Rys.8. Stanowisko badawcze (a) oraz doświadczalnie wyznaczone obszary stabilności (b)
Fig.8. The test stand (a) and detected stability regions (b)



Rys.9. Analiza stabilności za pomocą analizy rekurencyjnej (RQA)
Fig.9. The stability analysis by means of Recurrence Quantification Analysis (RQA)

Wnioski
Conclusions

- Wykazano, że modele liniowe nie są w stanie oddać całą złożoność procesu frezowania
- Zjawisko tarcia suchego w bardzo niewielkim stopniu wpływa na obszary niestabilności wynikającą z regeneracji drgan
- Zastosowana technika "Recurrence Quantification Analysis" dala pozytywne efekty w aspekcie badania stabilności procesu, co może być wykorzystane do nadzorowania procesów skrawania
- One has been revealed, linear models are not able to show the complexity of milling process
- The dry friction phenomena has no wide an influence on unstable regions come from a regeneration vibrations
- The RQA technique gave positive effects in analysis of stability process, it could be used for overseeing a cutting process.

Przykłady zastosowania w lotnictwie
Examples of application in aviation



Rys.10. Porównanie powierzchni obrabianej z chatterem i bez chatteru otrzymywane dla skrawania ze zmiennej głębokości stopu Inconel 718 (a), przykłady zastosowań (b - d)
Fig.10. Machined surface comparison by chatter and no chatter for Inconel 718 at different depth of cut (a), examples of found applications (b-d)

Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym
Collaboration with aviation industry

PZL - Świdnik S.A.

- obróbka materiałów kompozytowych z włóknami szklanymi i węglowymi

WSK "PZL-Rzeszów" S.A.

- Skrawanie elementów cienkościennych wykonanych z trudnoobrabialnych stopów
- Analiza metod obróbki elementów cienkościennych wykonanych z superstopów

MG-CERTUS

- obróbka materiałów metodą HSM

Zakład Narzędziowy w Świdniku Sp. z o.o.

- Analiza drgań typu chatter w obróbce skrawaniem oraz metody ich eliminacji

Wskaźniki realizacji celów projektu

Referaty

- Rusinek R.: **Chatter In Milling Of Composites: Simulations And Diagnostic**, Conference of Supervising and Diagnostics of Machining Systems - Model Based Manufacturing, Karpacz 2011
- Litak G., Rusinek R.: **Dynamics of stainless steel turning. Analysis by multifractal**. Conference ENOC 2011, Rzym 2011
- Rusinek R., Wärmlinski J., Kęcik K.: **Frictional and regenerative chatter**. Conference ENOC 2011, Rzym 2011
- Kęcik K., Wärmlinski J., Rusinek R.: **Chaos in mechanical systems. Selected problems**. IUTAM Symposium on 50 Years of Chaos : Applied and Theoretical, Kyoto 2011
- Zaleski K.: **Badania wpływu parametrów bagniatania wibracyjnego na trwałość zmęczeniową elementów ze stopu tytanu**, Tytan i jego stopy - 2011

Publikacje

- 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, str. 102-108
- Litak G., Rusinek R.: **Dynamics of a Steel Turning Process. Chaos Theory: Modeling, Simulation and Applications**. C. H. Skidas, I. Dimotikalis and C. Skidas (Eds) World Scientific Publishing Co str. 445 - 448
- Litak G., Polyakov J.S., Timashev S.F., Rusinek R.: **Dynamics of stainless steel turning: Analysis by Ficker-noise spectroscopy** - w recenzji
- Litak G., Syta A., Rusinek R.: **Dynamical Changes During Composite Milling: Recurrence and Multiscale Entropy Analysis**. International Journal of Advanced Manufacture Technology 56 (2011) 445-453
- Litak G., Rusinek R.: **Nonlinear dynamics of a stainless steel turning process**, Mechanica - w recenzji.
- Sen A.K., Litak G., Syta A., Rusinek R.: **Multiscale Dynamics in Milling of Fiber Reinforced Composites**. Zeitschrift fuer Naturforschung - w recenzji
- Kęcik K., Rusinek R., Wärmlinski J.: **Stability Lobes Analysis of Nickel Superalloys Milling**. International Journal of Bifurcation and Chaos, Vol.21 No.10, 2011
- Rusinek R., Kęcik K., Wärmlinski J.: **Dynamics of composite material cutting**. Advances in Manufacturing Science and Technology, Vol. 35, No. 3, 2011
- Zaleski K.: **Wpływ parametrów dynamicznego nagiętania rozproszonego na rozkład naprzężenia wstępnych w warstwie wierzchniej stopu tytanu**. Inżynieria powierzchni, vol. 3, 2011 str.48-52
- Kęcik K., Rusinek R., Wärmlinski J.: **Dynamical analysis of milling process with various radial depth of cut**. Budowa maszyn i zarządzanie produkcją, nr.2(16), 2011, str. 69-81
- Matuszak J., Zaleski K.: **Badania porównawcze wpływu frezowania na chropowatość powierzchni i mikrotwardość warstwy wierzchniej stopu tytanu Ti6Al4V oraz stali nierdzewnej 15-5PH**. Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji, Vol. 31 nr 2, 2011, s. 59-68

Prace mgr, dr, hab.

Prace inżynierskie obronne:

- Sylwester Głogowski: **Wpływ prędkości skrawania na siły podczas frezowania stopu Inconel 617**. Promotor: dr inż. Rusinek Rafał
- Adam Lojkiewski: **Skrawalność stopu tytanu Ti6Al4V**. Promotor: dr inż. hab. Kazimierz Zaleski
- Marcin Krupa: **Wpływ zużycia ostrza na wybrane właściwości warstwy wierzchniej stopu niklu Inconel713C po frezowaniu czołowym**. Promotor: dr inż. hab. Kazimierz Zaleski

Prace inżynierskie planowane

- Zdeb Przemysław: **Ocenia skrawalność materiałów kompozytowych**. Promotor: dr inż. Rusinek Rafał, planowany termin obrony pracy - luty 2012

Prace doktorskie

Tytuł: **Aktynna eliminacja drgań typu chatter w obróbce skrawaniem**

Autor: mgr inż. Andrzej Wereszczuk

Promotor: dr hab. inż. Jerzy Wärmlinski, prof. PL

Status: w trakcie realizacji

Prace habilitacyjne

Tytuł: **Zjawiska nielinijne w obróbce skrawaniem**

Autor: dr inż. Rafał Rusinek

Status: W trakcie realizacji