

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

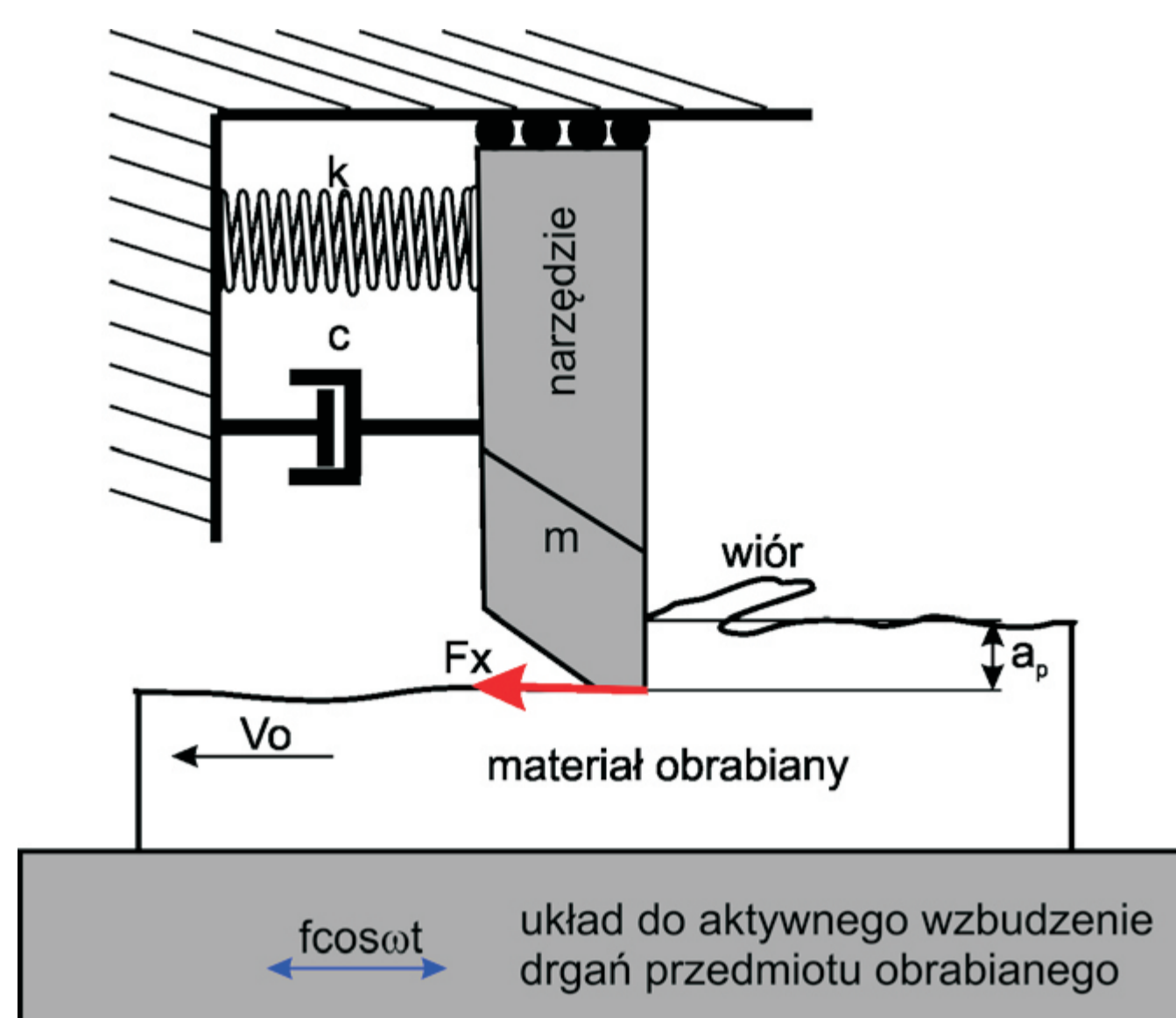
Opracowanie zaawansowanych procesów obróbki HSM trudnoobrabialnych stopów lotniczych

Development of advanced processes of HSM of almost unworkable aeronautical alloys

Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Politechnika Łódzka, Politechnika Warszawska

Badanie dynamiki procesu skrawania za pomocą metody kontynuacji rozwiązania

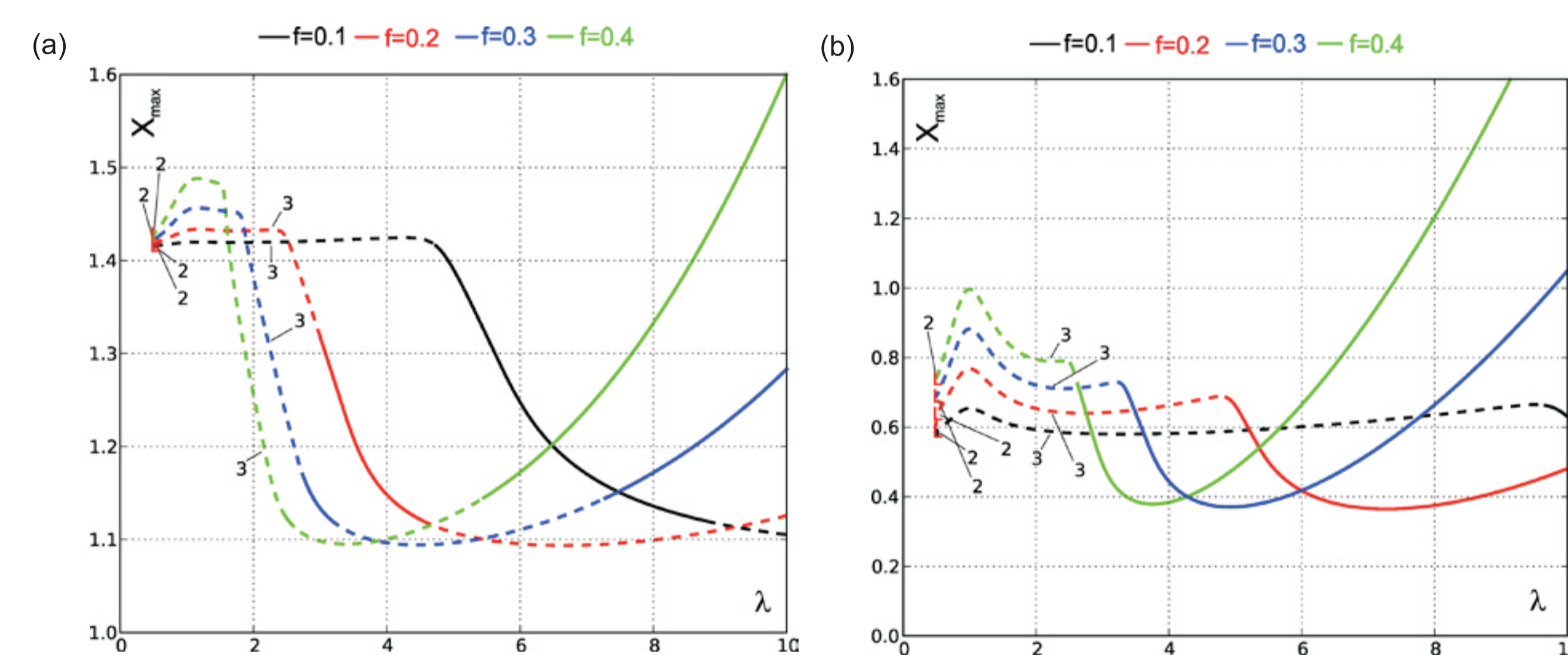
Analysis of machining process by means of continuation solution method



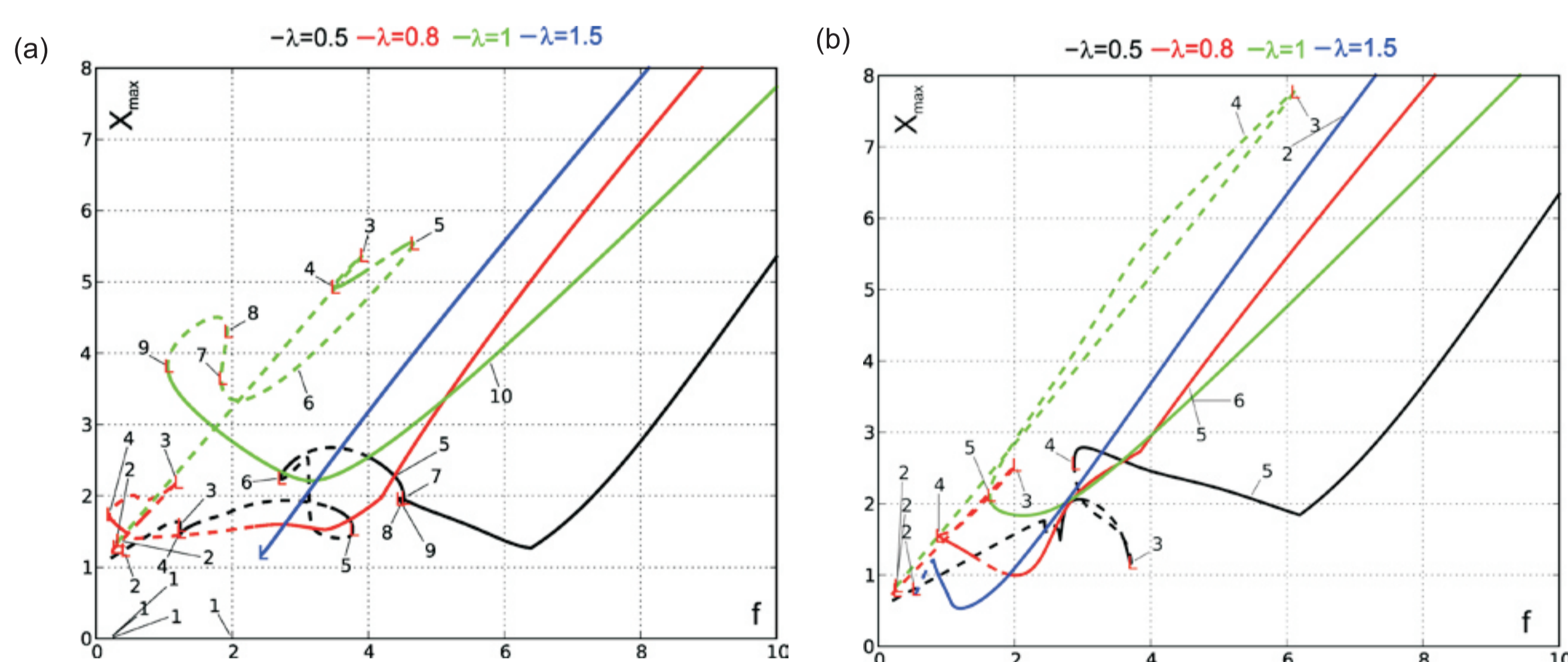
Rys. 1. Model procesu skrawania z aktywnym wymuszeniem przedmiotu obrabianego
Fig. 1. The machining model with adopted an active excitation of cutting workpiece

- Tarciowy model skrawania zaimplementowany w programie do poszukiwania rozwiązań metodą kontynuacji

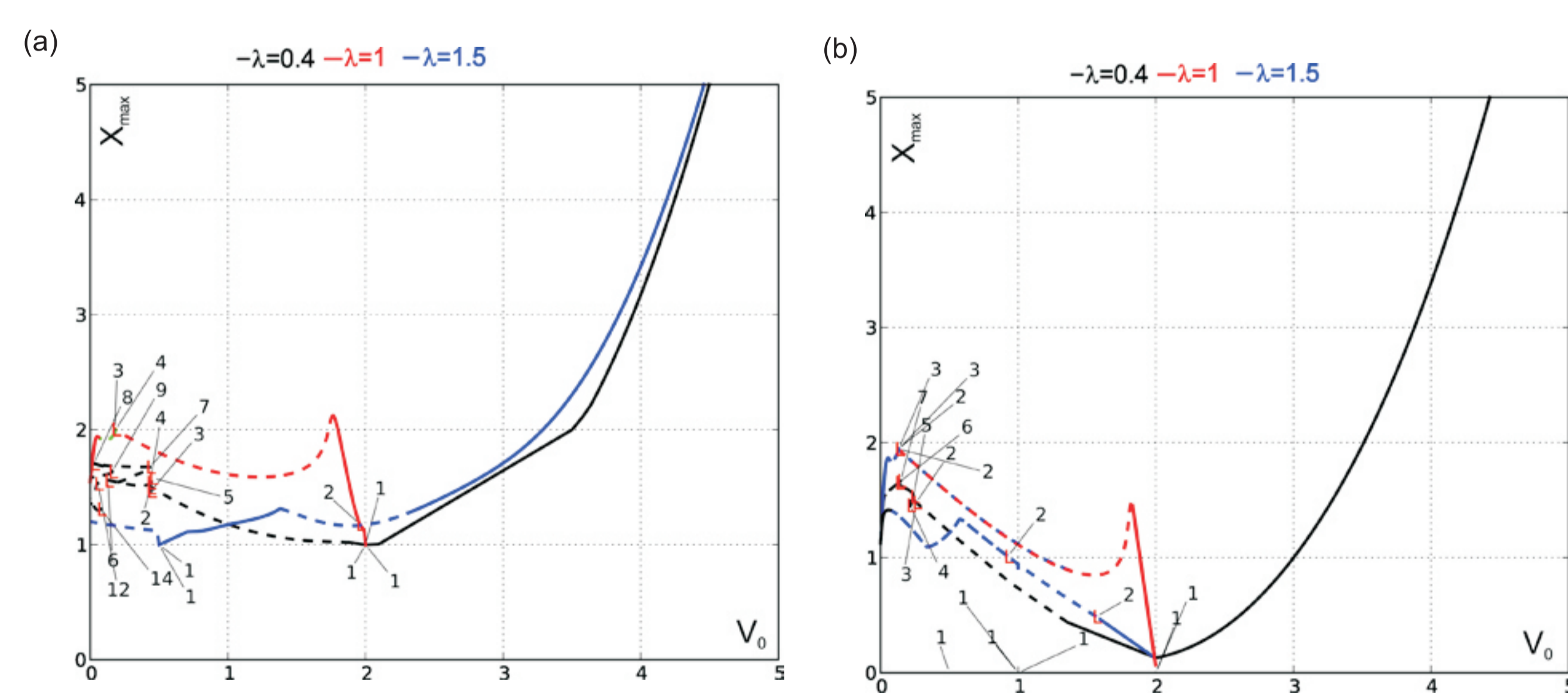
$$\ddot{X} + \delta \dot{X} + \omega_0^2 X + \gamma X^3 - K \left(\frac{C + \tanh[a(v_0 - f \lambda \cos(\lambda t) - \dot{X})]}{\alpha_1 (v_0 - f \lambda \cos(\lambda t) - \dot{X}) + \beta (v_0 - f \lambda \cos(\lambda t) - \dot{X})^3} \right) = 0$$



Rys. 3. Wpływ częstości wymuszenia na amplitudę drgań narzędzia skrawającego dla różnych amplitud wymuszenia f dla v0=0.5(a), v0=1(b).
Fig. 3. The excitation frequency influence on vibration amplitude of a cutting tool for chosen excitation amplitudes f at v0=0.5(a), v0=1(b).



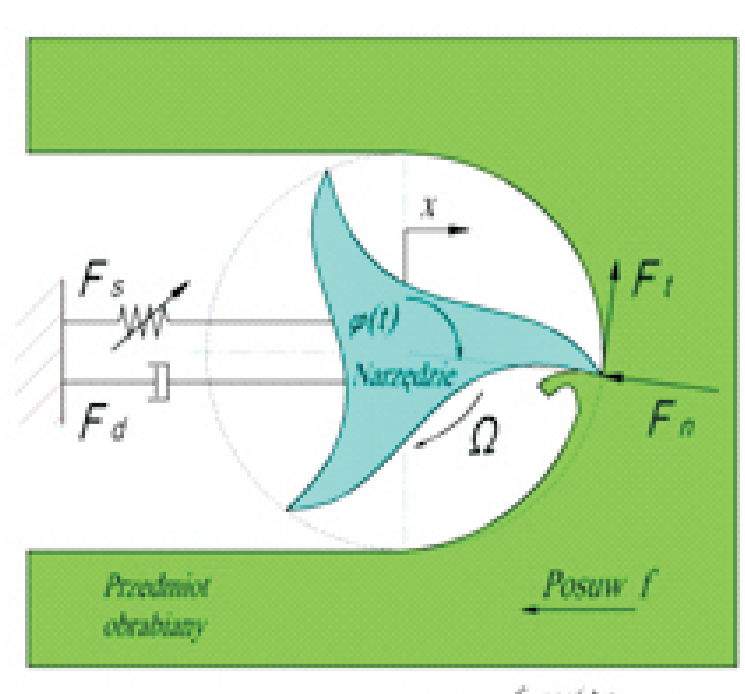
Rys. 4. Wpływ amplitudy wymuszenia na drgania narzędzia skrawającego dla różnych częstości wymuszenia lambda, v0=0.5(a), v0=1(b).
Fig. 4. The excitation amplitude influence on vibration of a cutting tool for chosen excitation frequencies lambda at v0=0.5(a), v0=1(b).



Rys. 5. Wpływ prędkości v0 na amplitudę drgań narzędzia skrawającego dla różnych częstości wymuszenia lambda przy f=1(a), f=0.5(b).
Fig. 5. The velocity v0 influence on vibration amplitude of a cutting tool for different excitation frequency lambda at f=1(a), f=0.5(b).

Analiza wpływu nieliniowości w układzie skrawania na skuteczność redukcji drgań samowzbudnych

The analysis of influence of the nonlinearities in a cutting system on self excited vibration reduction



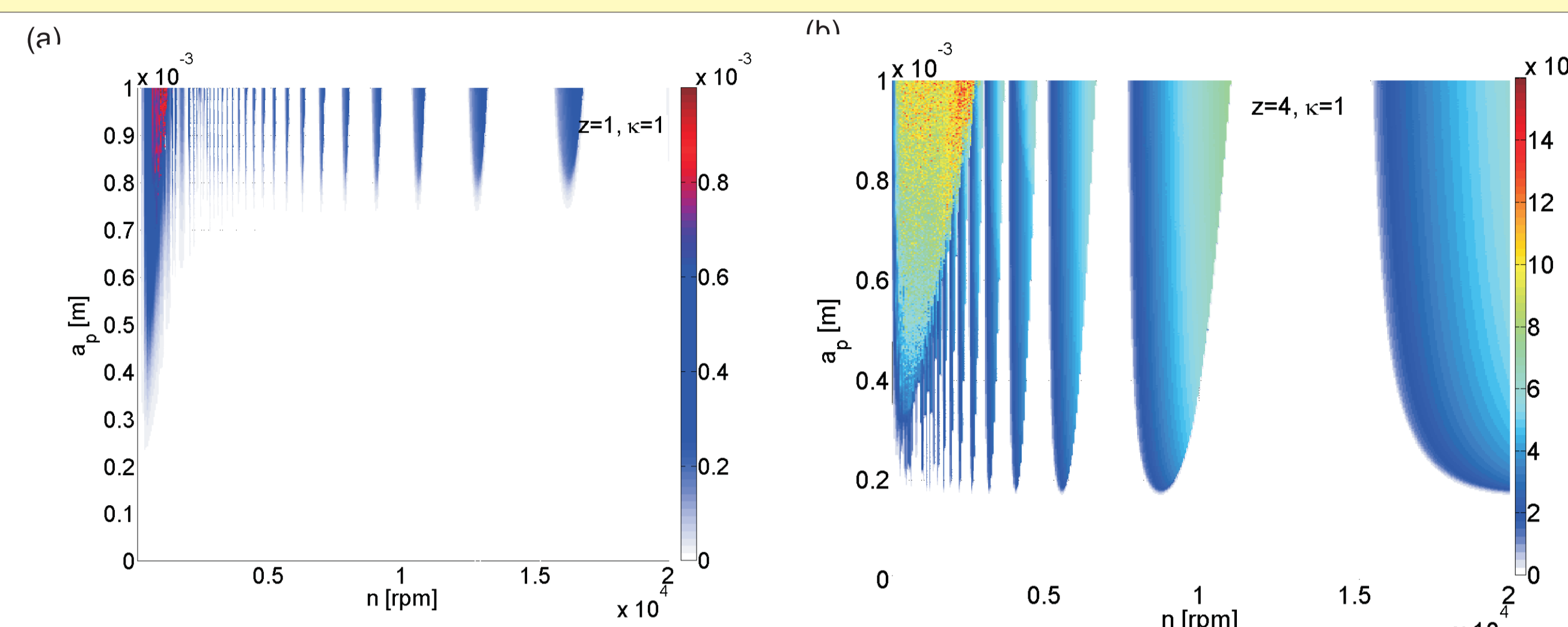
Rys. 6. Schemat frezowania pełnego
Fig. 6. The full milling scheme

Równanie ruchu dla modelu frezowania pełnego

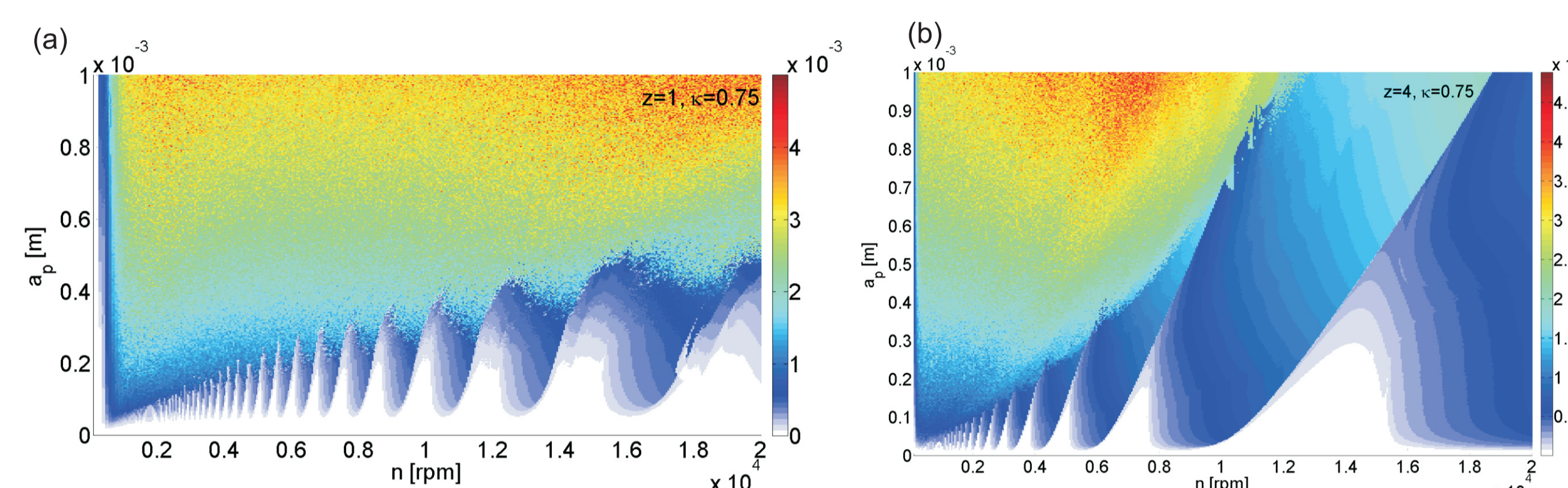
$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n \dot{x} + \omega_n^2 x + \frac{\gamma}{m} x^3 = \frac{a_p}{m} \sum_{j=1}^n h_j(t)^k (-K_t \cos\phi_j - K_r \sin\phi_j) g_j(h_j)$$

Wyniki badań

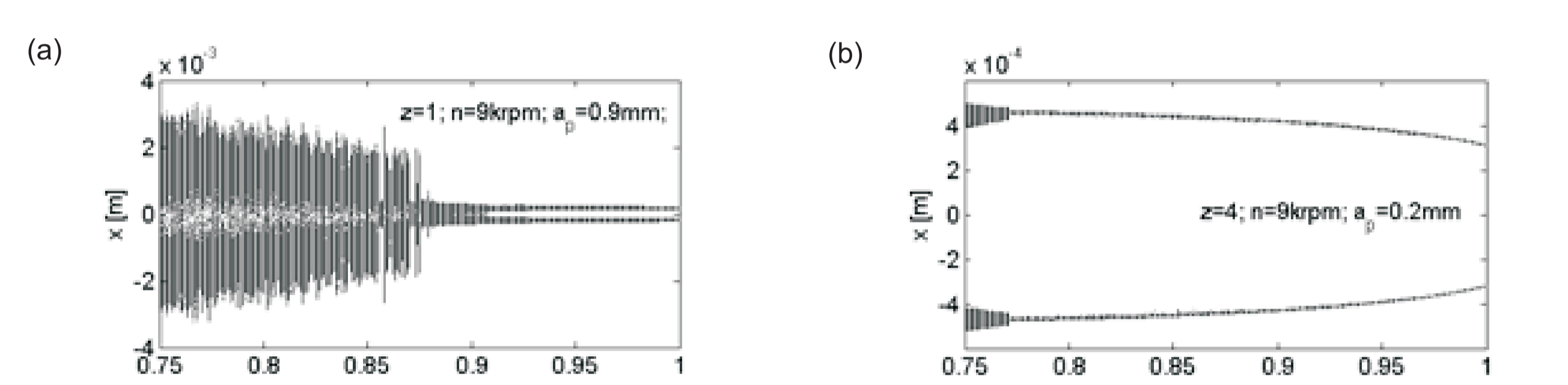
Results



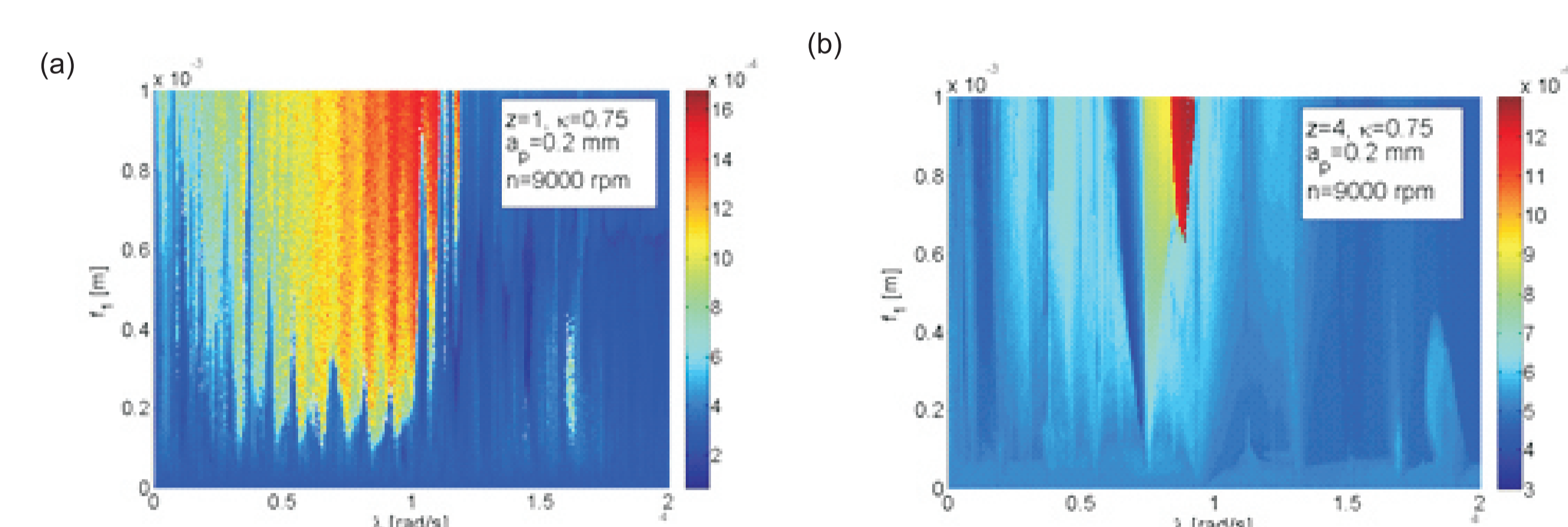
Rys. 7. Krzywe workowe dla kappa=1, a) z=1, b) z=4.
Fig. 7. The stability lobe diagrams for kappa=1, a) z=1, b) z=4.



Rys. 8. Krzywe workowe dla kappa=0.75, a) z=1, b) z=4.
Fig. 8. The stability lobe diagrams for kappa=0.75, a) z=1, b) z=4.



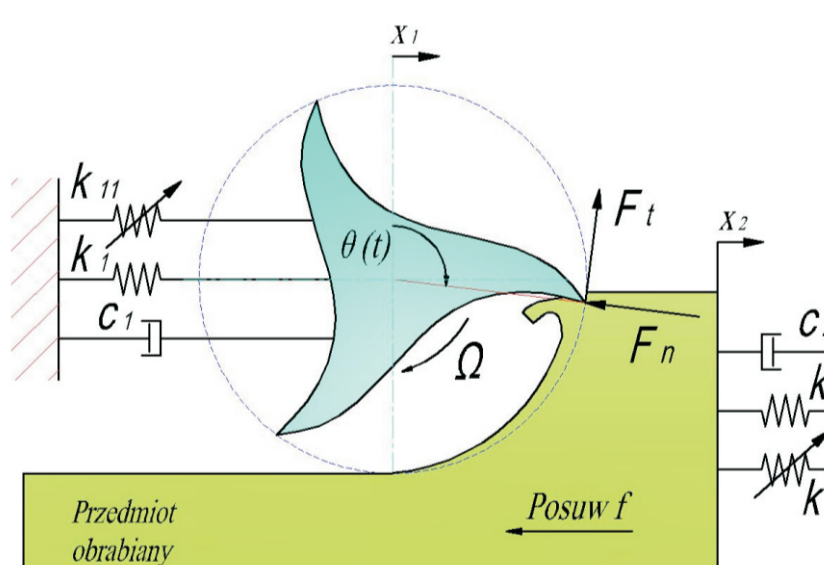
Rys. 9. Wykresy bifurkacyjne dla kappa=0.75, a) z=1, b) z=4.
Fig. 9. Bifurcation diagrams for kappa=0.75, a) z=1, b) z=4.



Rys. 10. Mapa kolorów amplitudy drgań układu skrawającego z systemem redukcji jako funkcja parametrów lambda i fi a) z=1, b) z=4.
Fig. 10. The vibration amplitude map colour of the machining system with adopted a vibration reduction subsystem depends on parameters lambda i fi a) z=1, b) z=4.

Aktywna eliminacja drgań w procesie frezowania

Active elimination of vibrations in a milling process

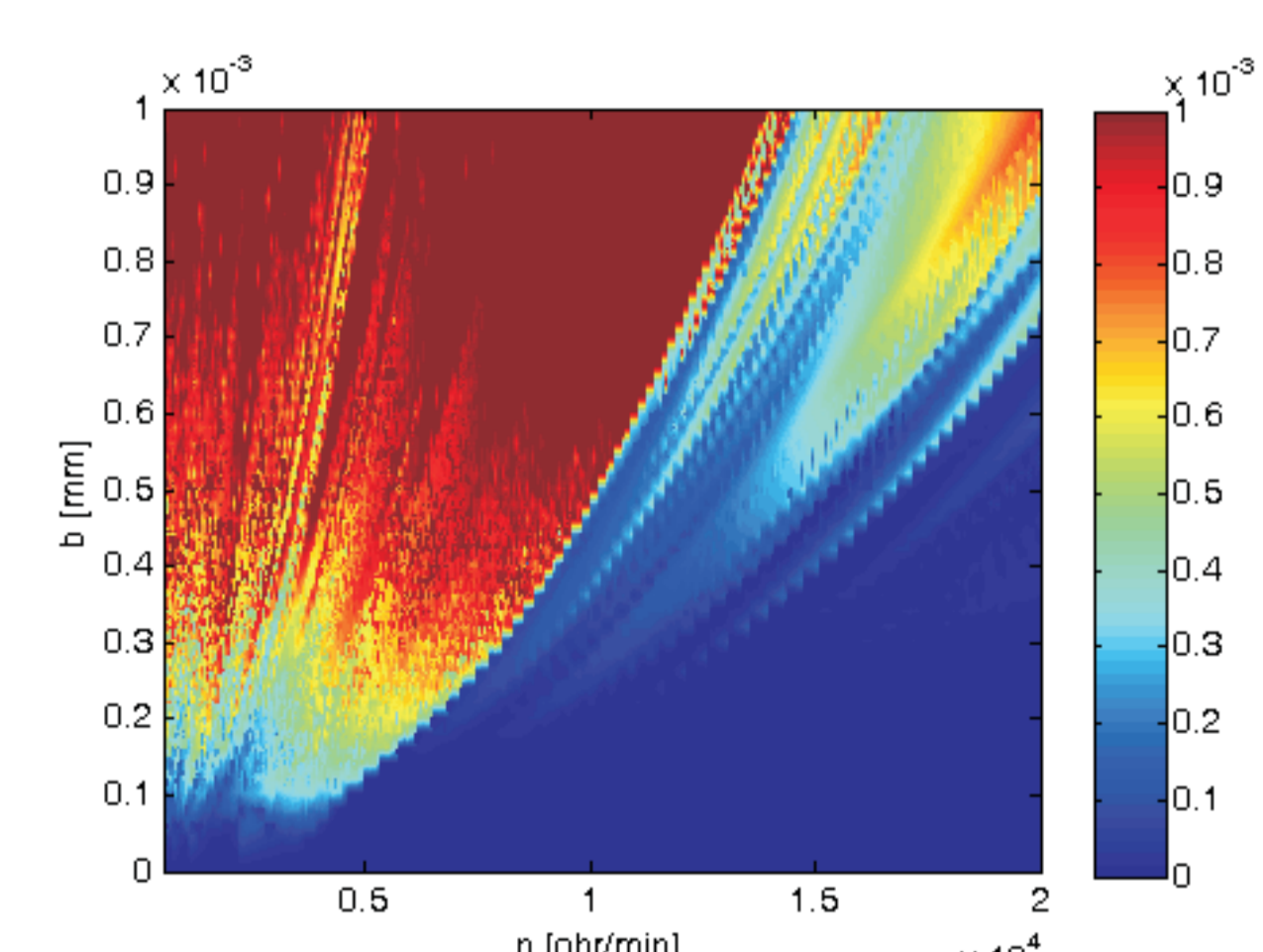


Równanie ruchu dla modelu frezowania pełnego

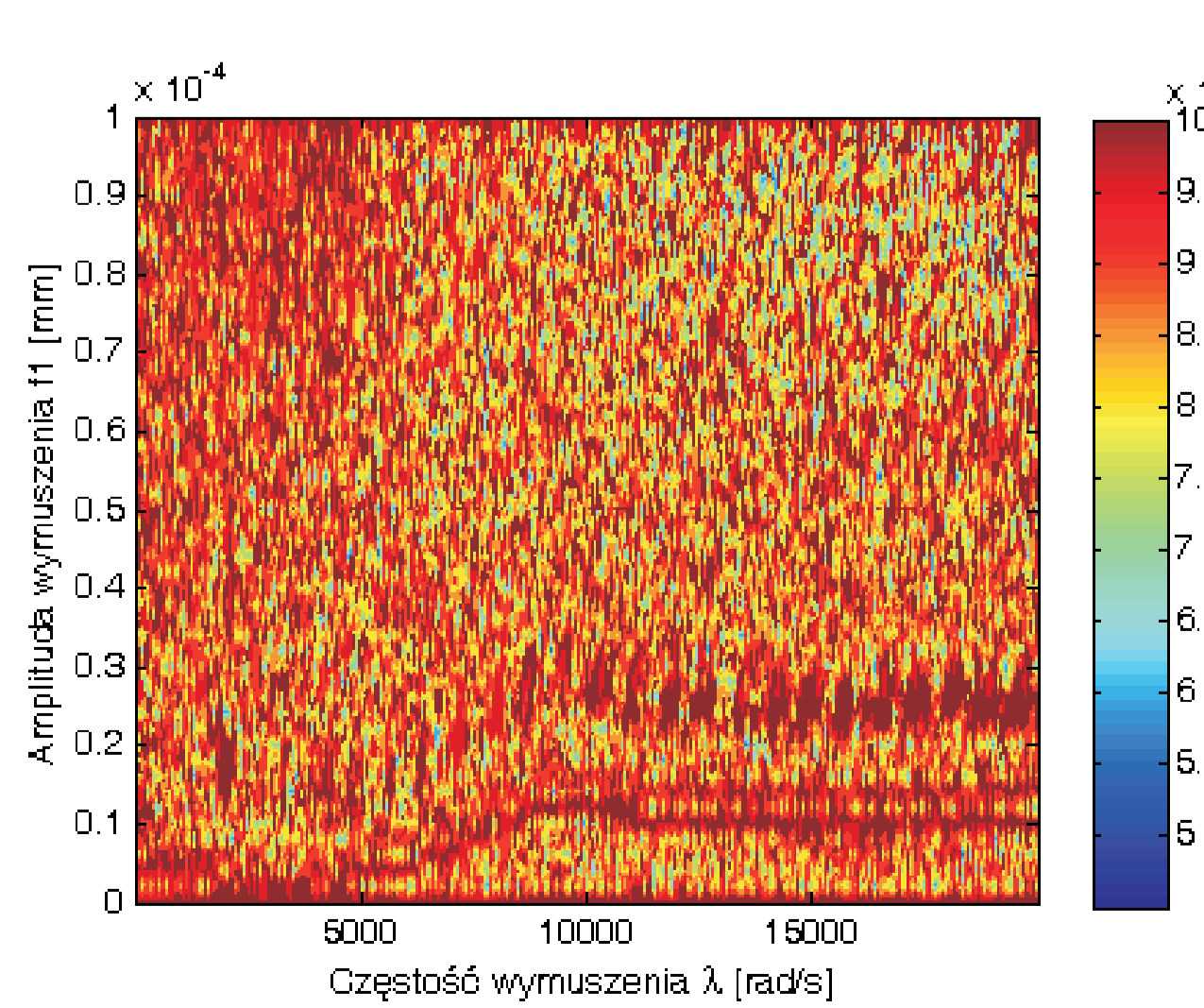
$$x_1''(t) + 2\zeta_1 \omega_{n1} x_1'(t) + \omega_{n1}^2 x_1(t) + \gamma_1 x_1(t)^3 = \frac{1}{m_1} \sum_{i=1}^n F_{x_i}(t)$$

$$x_2''(t) + 2\zeta_2 \omega_{n2} x_2'(t) + \omega_{n2}^2 x_2(t) + \gamma_2 x_2(t)^3 = -\frac{1}{m_2} \sum_{i=1}^n F_{y_i}(t)$$

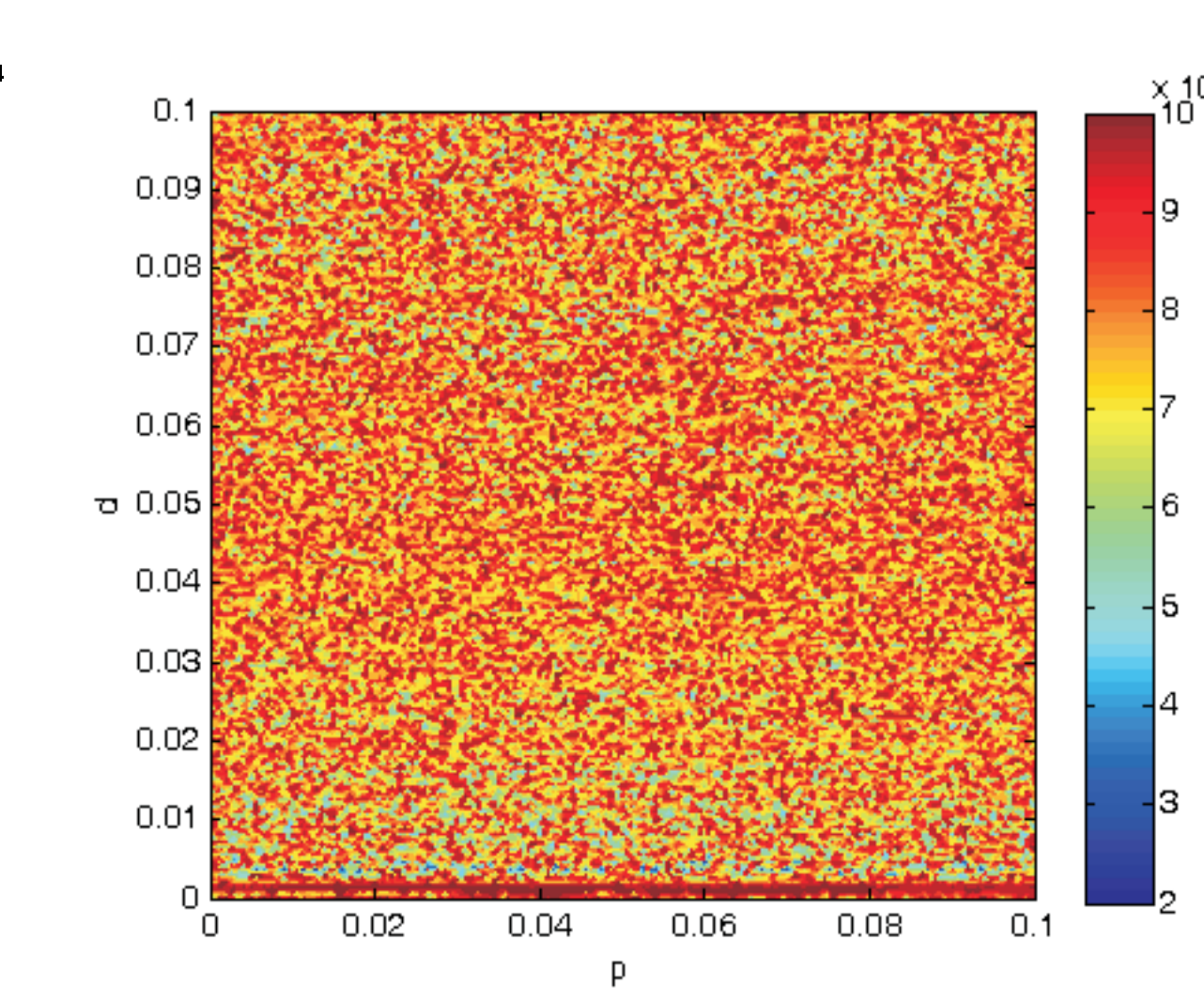
Rys. 11. Nieliniowy model frezowania o dwóch stopniach swobody z wymuszeniem zewnętrznym: fcos(At).
Fig. 11. Nonlinear two degree of freedom milling model with external excitation: fcos(At).



Rys. 12. Wykres stabilności procesu frezowania dla kappa=0.75, fcos(At)=0.
Fig. 12. The stability diagram of milling process at kappa=0.75, and fcos(At)=0.



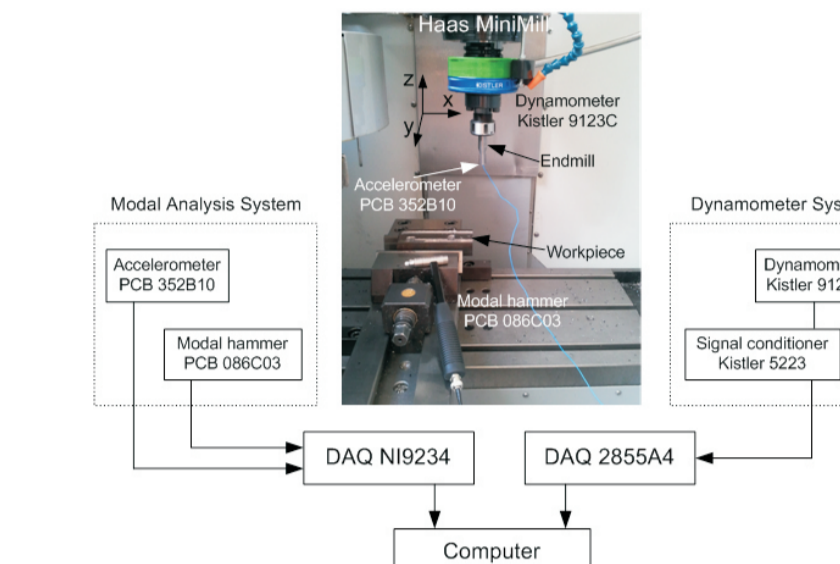
Rys. 13. Wpływ parametrów wymuszenia zewnętrznego na amplitudę drgań dla b=0.5mm i n=3000obr/min.
Fig. 13. Influence of the external excitation parameters on the vibration amplitude at b=0.5mm and n=3000rpm.



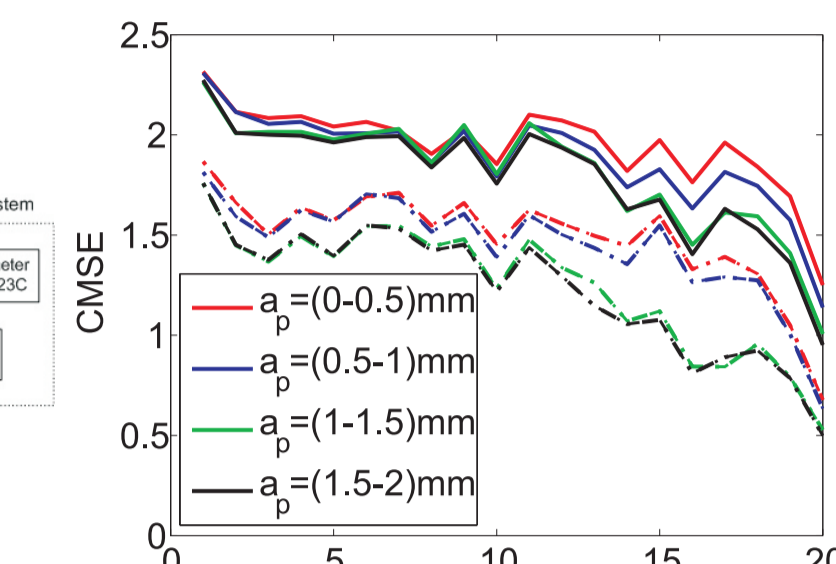
Rys. 14. Wpływ nastaw regulatora PD na amplitudę drgań dla b=0.5mm i n=3000obr/min.
Fig. 14. Influence of the PD controller set on the vibration amplitude at b=0.5mm and n=3000rpm.

Analiza stabilności frezowania stopu tytanu metodą entropii wieloskalowej

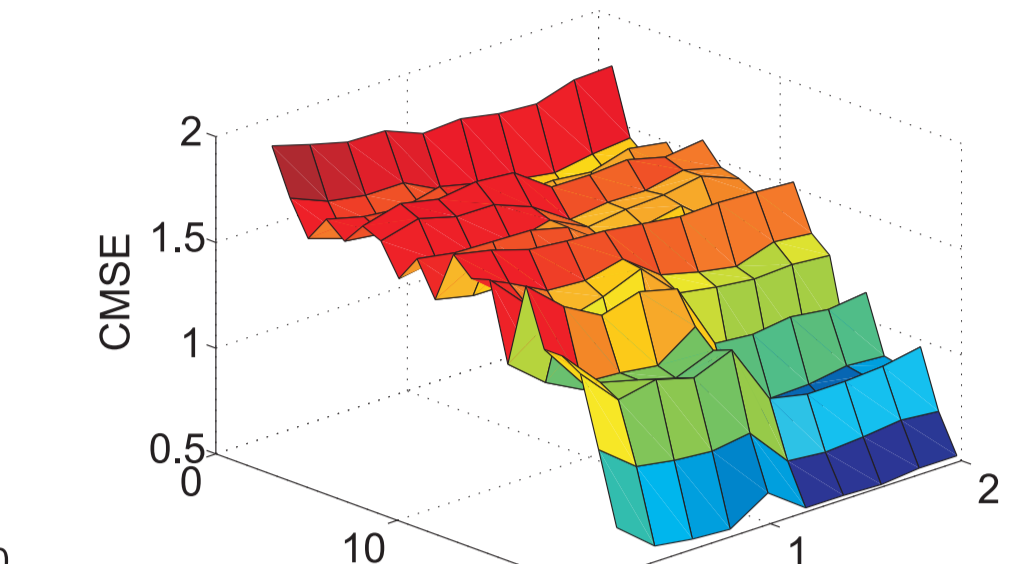
The stability analysis of titanium milling process by multiscale entropy



Rys. 15. Stanoisko pomiarowe sił i momentu podczas frezowania.



Rys. 16. Złożona entropia wieloskalowa od sygnałów.



Rys. 17. Entropia CMSE w funkcji zmiennej głębokości frezowania ap.

Rys. 15. Stanoisko pomiarowe sił i momentu podczas frezowania.

Rys. 16. Złożona entropia wieloskalowa od sygnałów.

Rys. 17. Entropia CMSE w funkcji zmiennej głębokości frezowania ap.

Wnioski

Conclusions

- Za pomocą metody kontynuacji rozwiązania możliwe jest wyselekcjonowanie optymalnych parametrów skrawania z punktu widzenia problematyki drgań,
- Metoda kontynuacji wykazała, że dla pewnych danych rozwiązania okresowe stabilne mogą być odseparowane niestabilnymi rozwiązaniami,
- Zaproponowany układ do redukcji drgań regeneracyjnych typu „chatter” otwiera nowe możliwości sterowania nieliniowymi układami skrawającymi
- Podczas zastosowania wymuszenia zewnętrznego kontrolowanego za pomocą regulatora PD, obserwuje się obniżenie poziomu drgań w procesie frezowania.
- Badanie procesu frezowania przeprowadzone na stopie tytanu za pomocą złożonej entropii wieloskalowej CMSE daje nowe możliwości oceny stabilności procesu obróbki przy określonych parametrach wejściowych

Przykłady zastosowania w lotnictwie

Examples of application in aviation



Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym

Collaboration with aviation industry

- WSK "PZL-Rzeszów" SA, PZL Mielec - Skrawanie elementów cienkościennych wykonanych z trudnoobrabialnych stopów lotniczych
- Celem badań jest uzyskanie lepszej dokładności wymiarów - kształtowej elementu obrabianego a także skrócenie czasu obróbki
- WSK "PZL-Rzeszów" SA, PZL Mielec - Cutting of thin - walled elements made of superalloys

Wskaźniki realizacji celów projektu

Indicators of the project

Publikacje

- A. Świć, D. Wołos, G. Litak: "Method of control of machining accuracy of low-rigidity elastic-deformable shafts". Latin American Journal of Solid and Structures 11 (2), 260-278 (2014).
- G. Litak, R. Rusinek, K. Kęćik, A. Rysak, A. Syta: "Dynamics of composite milling: application of recurrence plots to Huang experimental modes in Discontinuity and Complexity in Nonlinear Physical Systems". Ed. J.T.A. Machado, D. Baleanu, A. Luo. Tom20, 359-367, Springer (2014).
- R. Rusinek, M..Wiercigroch, P..Wahi: "Modelling of frictional chatter in metal cutting". International Journal of Mechanical Sciences, 89:167-178 (2014).
- J. Warminski, A. Warminska: "Hopf Bifurcations, Quasi-Periodic Oscillations and Frequency Locking Zones in a Self-Excited System Driven by Parametric and External Excitations". The ASME 2014 International Design Engineering Technical Conferences, & Computers and Information in Engineering Conference, DET2014-34079, (2014).

Prace mgr, dr, hab.

Prace magisterskie i inżynierskie obronione:

- Sebastian Świątkowski - Badania wpływu ukierunkowania włókien wzmacniających materiał kompozytowy na siły skrawania. Promotor: dr inż. K. Kęćik.
- Bartłomiej Józwik - Badania diagramu stabilności materiału trudno-obrabialnego Inconel 625. Promotor: dr inż. K. Kęćik.
- Marta Cichosz - Badania procesu wiercenia materiałów kompozytowych stosowanych w przemyśle lotniczym. Promotor: dr hab. inż. Rafał Rusinek
- Wojciech Surmacz - Badanie wpływu prędkości skrawania materiału kompozytowego z włóknem aramidowym na wielkość sił frezowania. Promotor: dr hab. inż. Rafał Rusinek
- Kamil Trochimowicz - Ocena wpływu posuwu podczas frezowania materiału kompozytowego z włóknem aramidowym na charakterystykę i wielkość sił skrawania. Promotor: dr hab. inż. Rafał Rusinek
- Agnieszka Kołacz - Badanie wpływu głębokości skrawania materiału kompozytowego z włóknem aramidowym na charakterystykę i wielkość sił frezowania. Promotor: dr hab. inż. Rafał Rusinek

Prace magisterskie i inżynierskie planowane:

- Anna Filipowicz - Badania charakterystyki siły skrawania na przykładzie frezowania kompozytu metalicznego odlewanego metodą SQ. Promotor: dr inż. R. Rusinek.
- David Prandl - Ocena wpływu prędkości posuwowej na charakterystykę siły skrawania na przykładzie frezowania kompozytu metalicznego odlewanego metodą grawitacyjną. Promotor: dr inż. R. Rusinek.
- Karol Charnas - Ocena wpływu głębokości skrawania na charakterystykę siły skrawania na przykładzie frezowania kompozytu metalicznego odlewanego metodą grawitacyjną. Promotor: dr inż. R. Rusinek.
- Marta Chreścijan - Badania charakterystyki siły skrawania na przykładzie frezowania kompozytu metalicznego odlewanego metodą grawitacyjną. Promotor: dr inż. R. Rusinek.

Prace doktorskie planowane

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