

## Opracowanie zaawansowanych procesów obróbki HSM trudnoobrabialnych stopów lotniczych

Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Politechnika Łódzka, Politechnika Warszawska

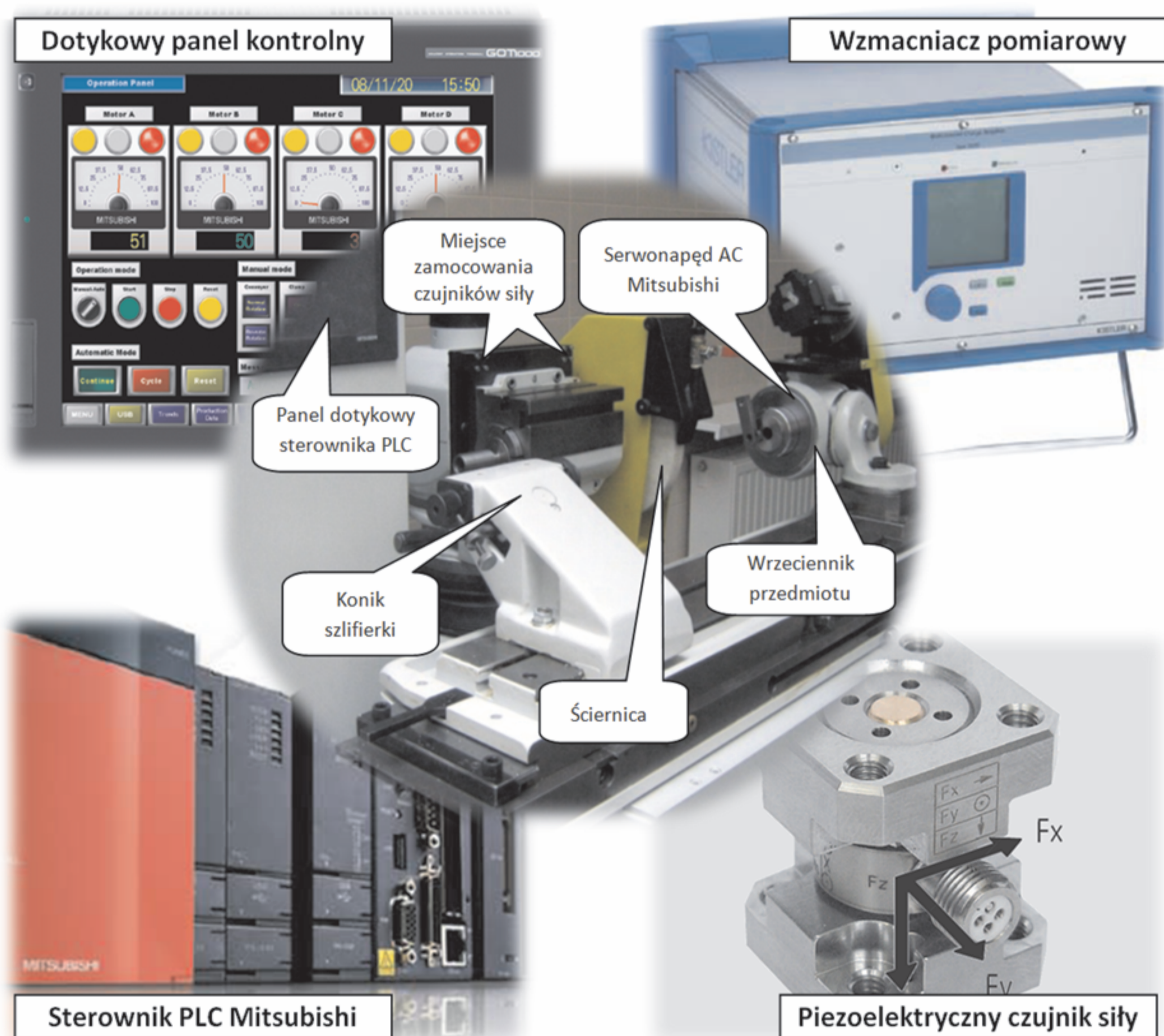
### Wyniki badań

- Modernizacja szlifierki Tacchella w celu przeprowadzenia badań szlifowania kłowego wałków. Zamontowano wrzeciennik przedmiotu z nowoczesnym napędem cyfrowym Mitsubishi.
- Budowa układu sterowania numerycznego z wykorzystaniem sterownika PLC firmy Mitsubishi. Opracowano program sterowania cyklem szlifowania dla sterownika PLC w języku drabinkowym. Opracowano interfejs użytkownika dla dotykowego ekranu GOT1000.
- Opracowanie modeli procesu szlifowania (siły, temperatury, odkształcenia, geometrii powierzchni obrabianej i ściernicy) - zadanie w trakcie realizacji.
- Wykonano wałki do szlifowania o różnych sztywnościach i masach elementów szlifowanych w celu weryfikacji opracowanych modeli procesu szlifowania.
- Przeprowadzono badania procesu szlifowania dla lotniczych i konwencjonalnych materiałów obrabianych w celu przygotowania danych dla modeli procesu szlifowania oraz weryfikacji tych modeli.
- Modernizacja układu sterowania PLC Mitsubishi w celu uzyskania otwartej struktury sterowania numerycznego, umożliwiającej zmianę przebiegu programu CNC w trakcie procesu szlifowania. Zmiana przebiegu programu następuje w wyniku pomiaru i analizy sygnału drgań, emisji akustycznej, składowych siły szlifowania, itp. Komunikacja z układem sterowania odbywa się z wykorzystaniem złącza Ethernet. Zadanie w trakcie realizacji.
- Budowa trójosiowego układu pomiaru siły dla szlifierki Tacchella. Zmodernizowano budowę wrzeciennika ściernicy w celu zamocowania piezoelektrycznych czujników siły szlifowania. Możliwy jest pomiar trzech składowych siły szlifowania.
- Opracowano oprogramowanie pomiarowe do rejestracji składowych siły szlifowania, drgań, emisji akustycznej, falistości przedmiotu i ściernicy oraz mikrogeometrii ściernicy.
- Budowa systemu diagnostyki z wykorzystaniem teorii zbiorów przybliżonych.

### Zadania inteligentnego systemu szlifowania trudnoobrabialnych stopów lotniczych

- Automatyczny dobór najodpowiedniejszej ściernicy i chłodziwa dla danego materiału obrabianego.
- Dobór parametrów technologicznych obróbki z wykorzystaniem systemów baz danych, systemów logiki rozmytej, sztucznych sieci neuronowych lub systemów eksperckich.
- Identyfikacja różnych stanów procesu szlifowania, tj. drgań samowzбудnych, przypaleń, itp.
- Automatyczny wybór strategii algorytmów sterowania i optymalizacji procesu w zależności od konkretnego przypadku technologicznego.
- Automatyczna detekcja i kompensacja zużycia narzędzia ściernego.
- Detekcja i kompensacja odkształceń geometrycznych przedmiotów obrabianych.
- Bieżąca modyfikacja trajektorii ruchu ściernicy w funkcji kształtu i wymiaru przedmiotu.
- Automatyczna identyfikacja nieprawidłowo wykonanych lub uszkodzonych przedmiotów.
- Detekcja wykrywanie sytuacji awaryjnych takich jak uszkodzenie układów pomiarowych itp.
- Złożona autodiagnostyka całego systemu szlifowania, automatyczne wykrywanie błędów, auto-kalibracja układów pomiarowych, itp.
- Automatyczne, minimalne obciążenie ściernicy w celu usuwania powstających falistości na ściernicy. (Opracowanie algorytmów estymacji falistości na przedmiocie i ściernicy na podstawie sygnału drgań lub sygnału siły szlifowania).

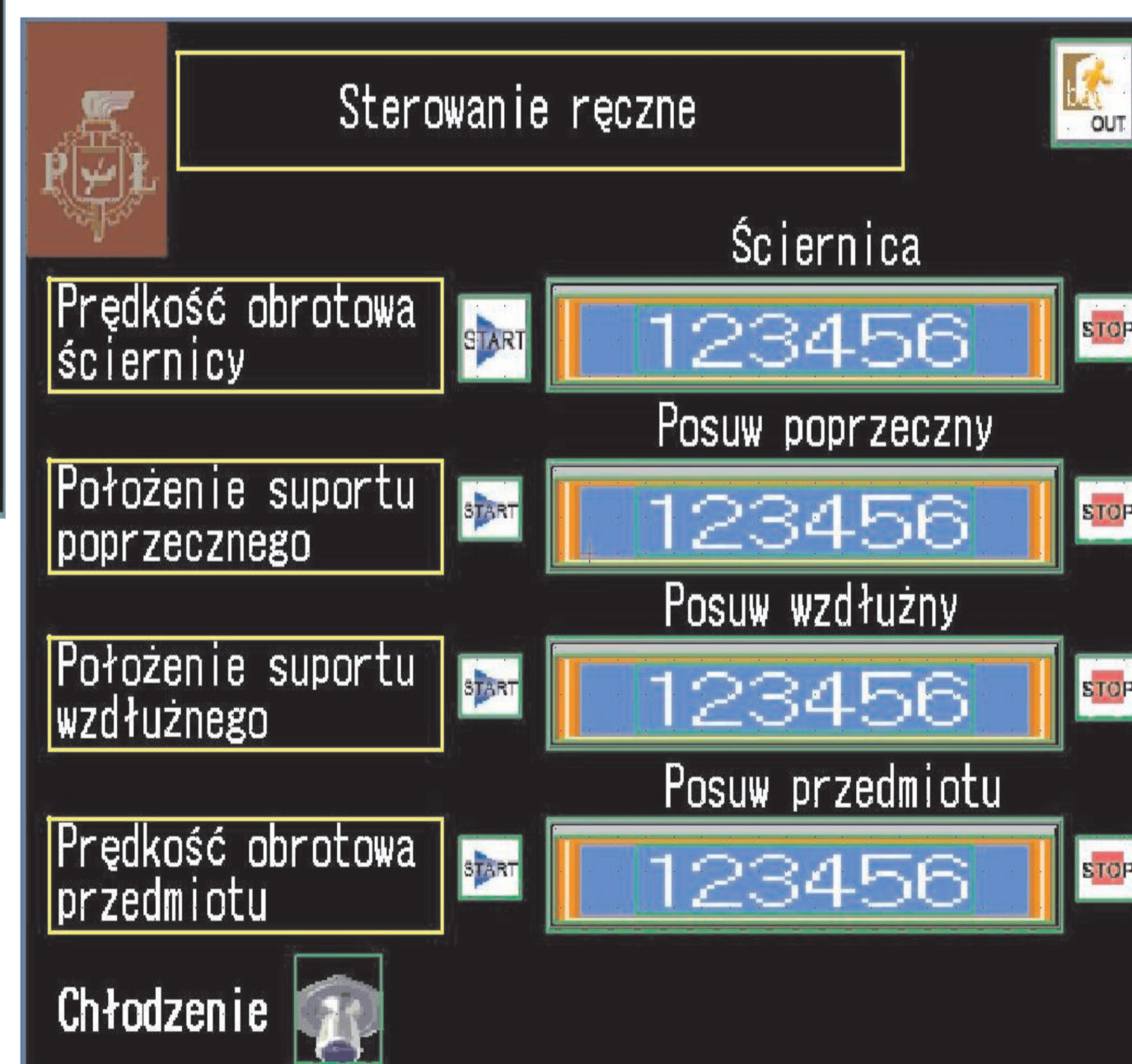
### Budowa stanowiska do badania procesu szlifowania



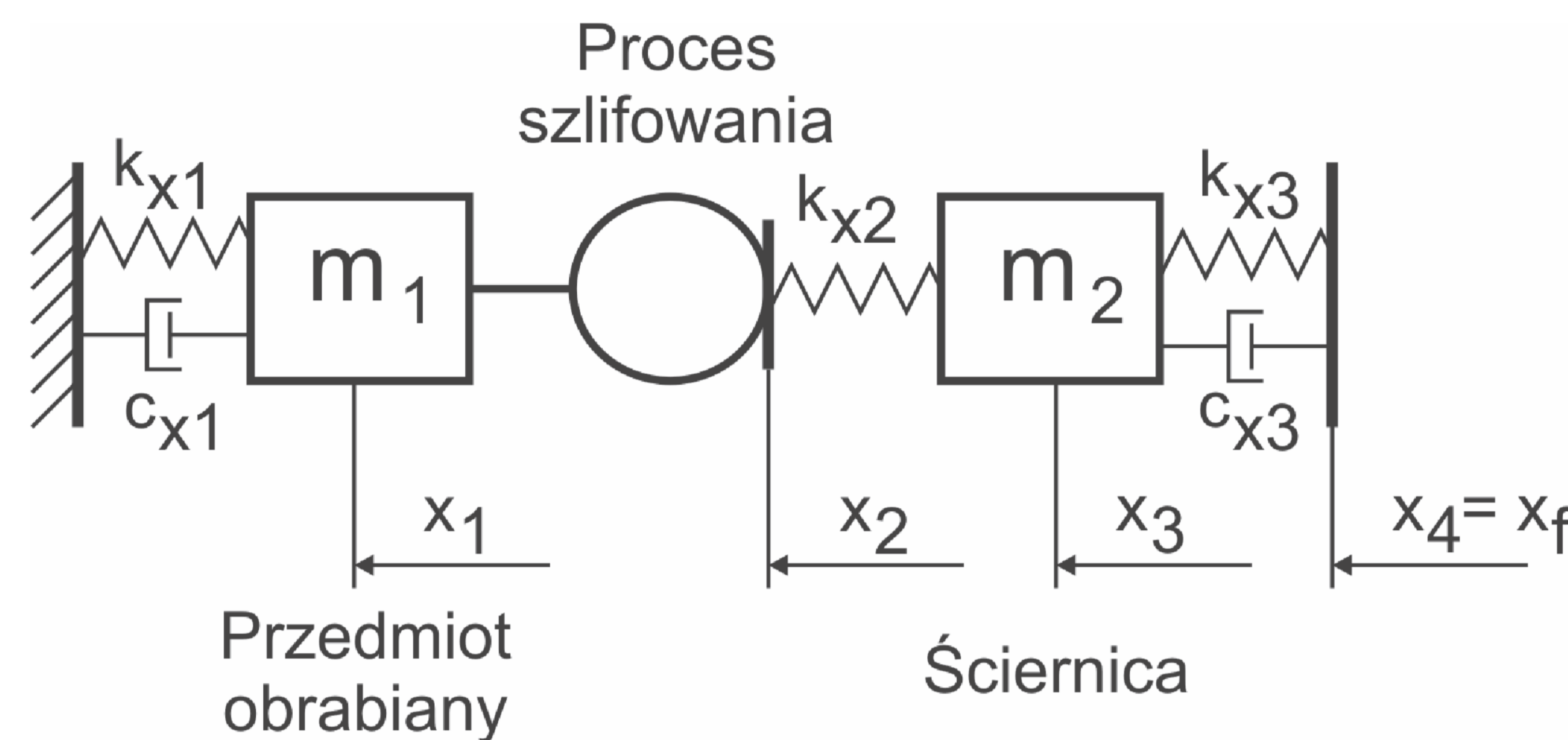
### STEROWANIE SZLIFIERKI

Wybierz jedną z opcji naciskając klawisz strzałki po lewej stronie

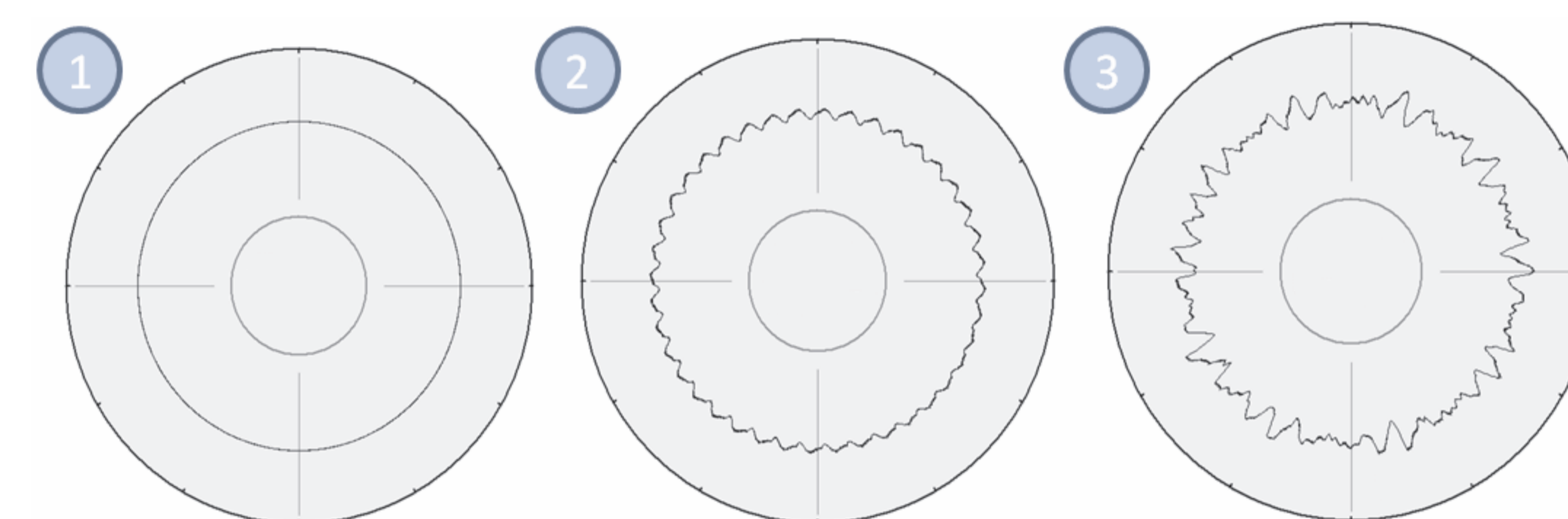
- Sterowanie ręczne
- Sterowanie półautomatyczne
- Sterowanie automatyczne



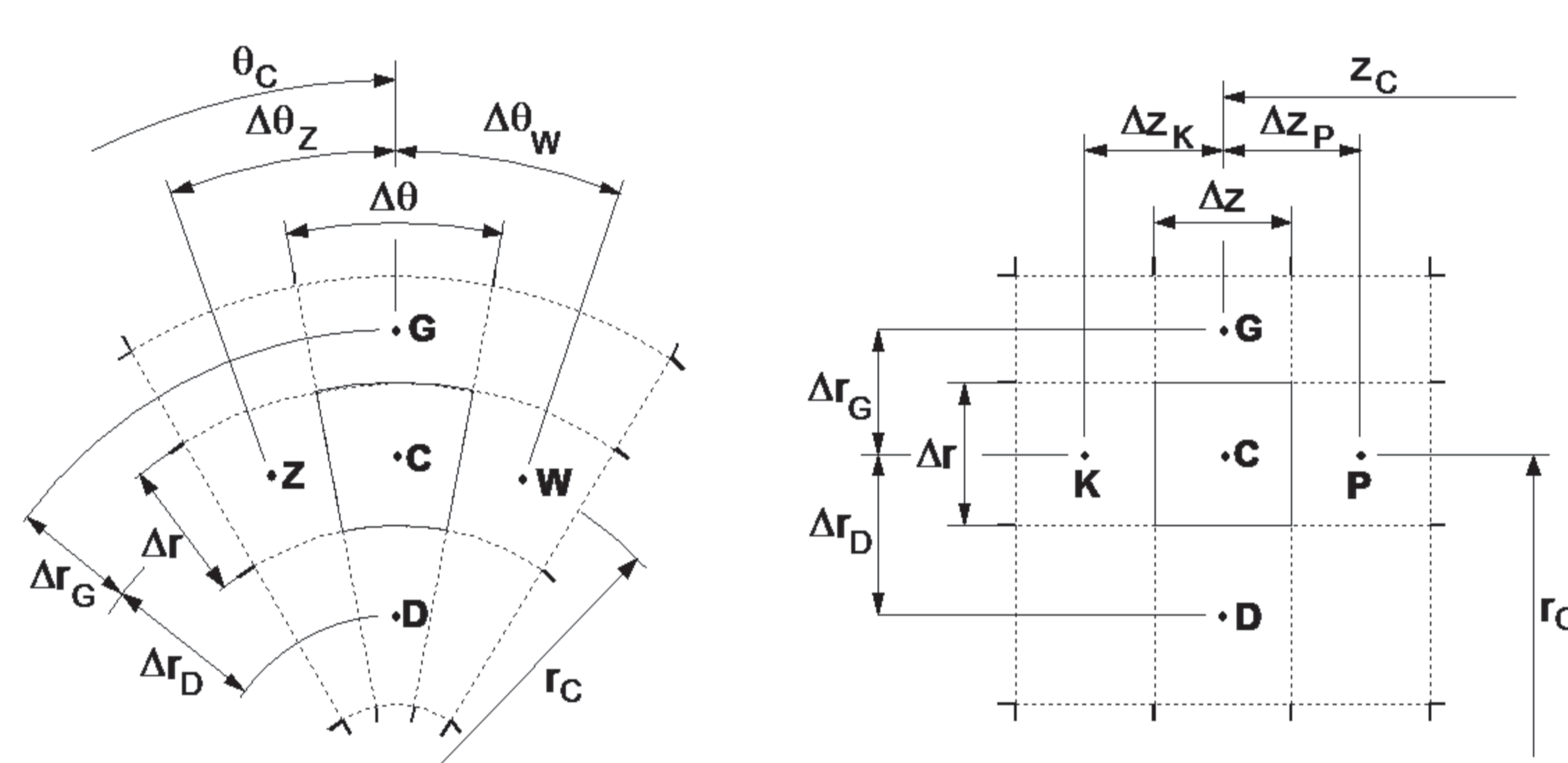
Zbudowane stanowisko badawcze procesu szlifowania oraz widok interfejsu użytkownika opracowanego systemu sterowania CNC szlifierki wykorzystującego zaawansowany



Model dynamiki procesu szlifowania oraz model geometrii przedmiotu obrabianego i ściernicy. Symulacja rozwoju drgań samowzбудnych na przedmiocie i ściernicy.

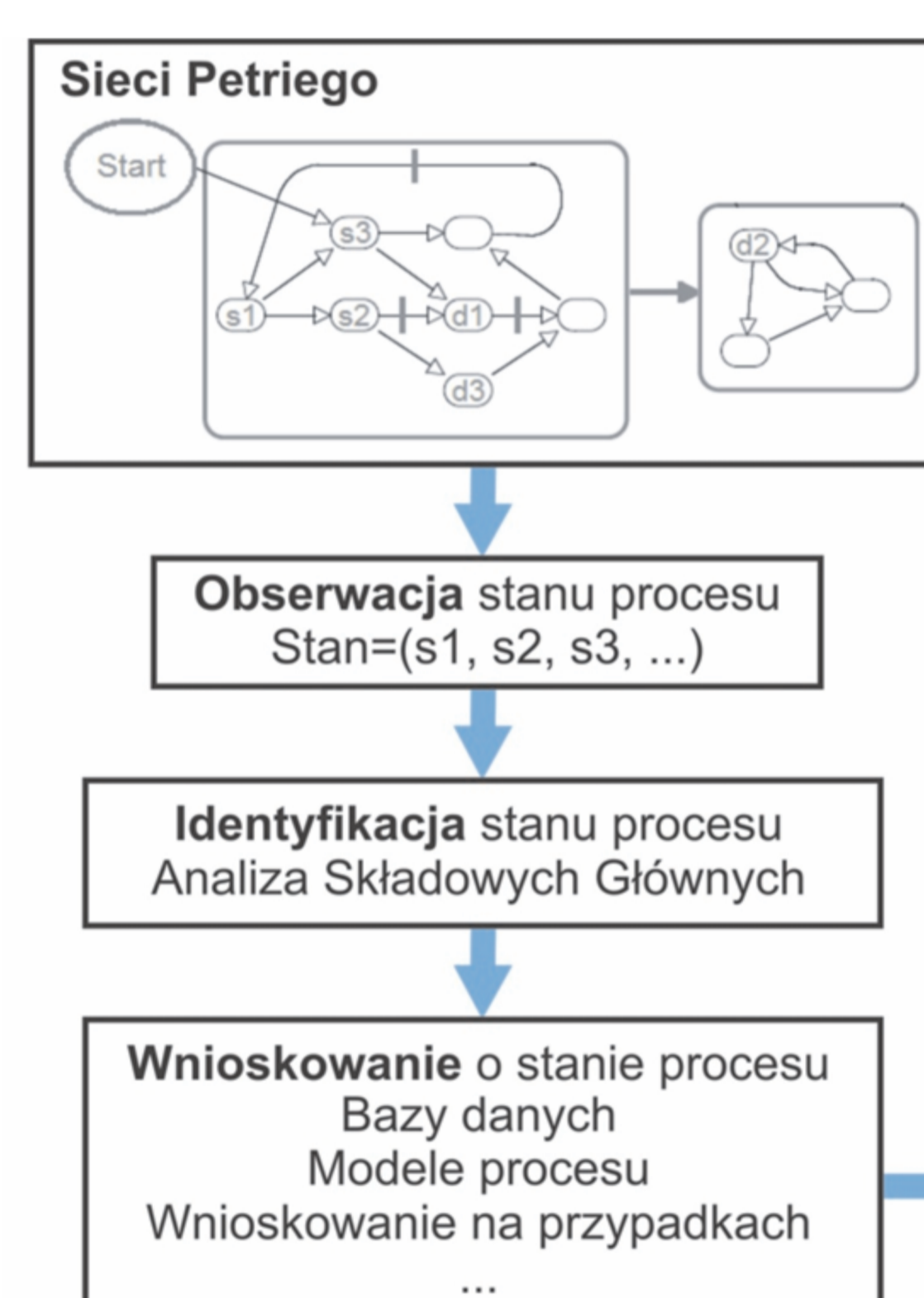


Rozwój falistości na ściernicy - symulacja. Przykładowe zarysy geometrii ściernicy podczas szlifowania na początku (1) i pod koniec okresu trwałości ściernicy (2) i (3).



$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{k}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$$

Podział przedmiotu na elementy skończone w modelu cieplnym ściernicy i przedmiotu oraz równanie cząstkowe przewodnictwa cieplnego w stałym cylindrycznym układzie współrzędnych.



Fuzja modeli procesu szlifowania i danych pomiarowych z czujników w procesie podejmowania decyzji o stanie procesu i kompensacji zakłóceń z wykorzystaniem ciągłych, rozmytych sieci Petriego, drzew decyzyjnych, modeli Markova oraz teorii prawdopodobieństwa.

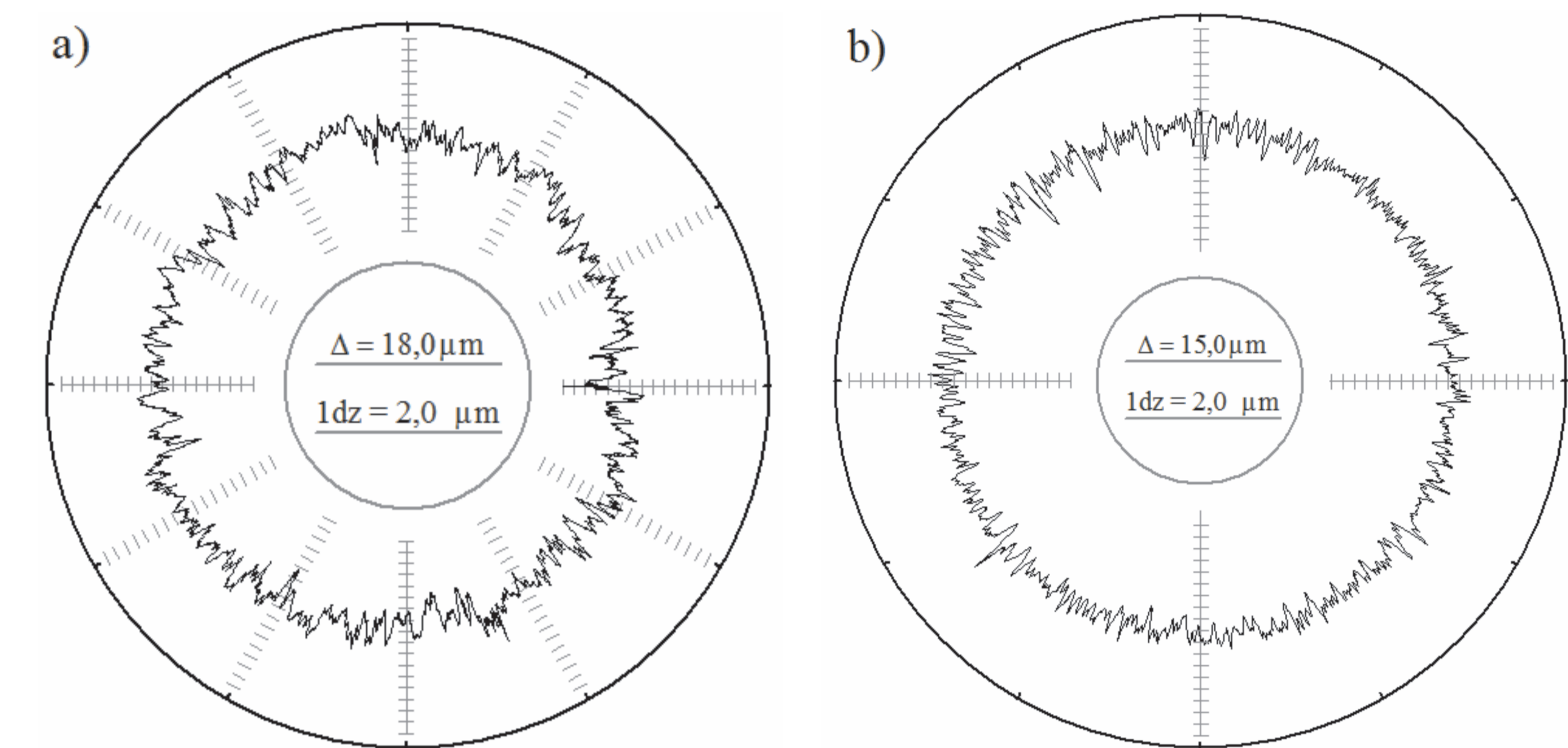
### Przykłady zastosowania w lotnictwie

Nawiązano współpracę z WSK i dokonano wyboru przedmiotów, które zostaną użyte jako próbki w badaniach doświadczalnych. Celem współpracy jest wybór ściernicy i optymalizacja warunków obróbki w celu zapewnienia powtarzalnych parametrów jakościowych produkowanych elementów lotniczych.

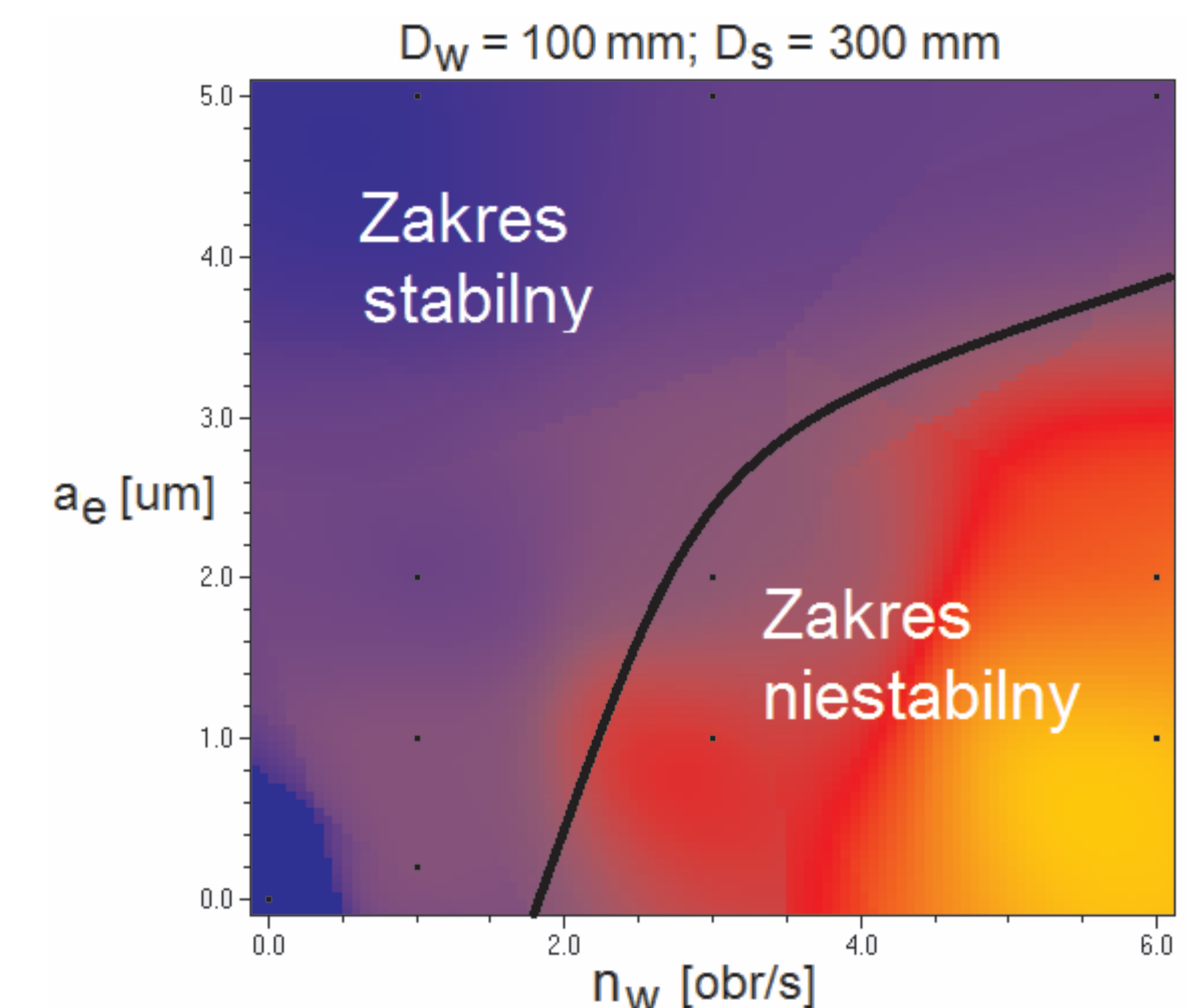


### Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym

- WSK "PZL-Rzeszów" SA - szlifowanie elementów cienkościennych wykonanych z trudnoobrabialnych stopów lotniczych
- WSK "PZL-Kalisz" SA - szlifowanie pokrycia Metco 45VF-NS o składzie 25,5 Cr, 10,5%Ni, 7,5%W, 0,5%C, reszta Co, na średnicy zewnętrznej



Przykład rzeczywistej falistości przedmiotu obrabianego a) oraz falistości uzyskanej na podstawie opracowanego modelu procesu b).



Przykładowy zakres stabilności procesu szlifowania ze względu na drgania samowzбудne na przedmiocie.

### Wnioski

- Opracowanie modeli procesu szlifowania. Uzyskano wysoką zgodność opracowanych modeli z danymi eksperymentalnymi.
- Opracowanie metod klasyfikacji cech sygnałów pomiarowych w oparciu o nieliniową metodę analizy składowych głównych (Principal component analysis).

### Wskaźniki realizacji celów projektu

#### Referaty

- Lajmert Paweł, Wrąbel Dariusz: *A diagnostic system for cylindrical plunge grinding process based on Hilbert-Huang transform*. Referat prezentowany na Konferencji XXXIII Szkoła Obróbki Ściernej, Koszalin 2009, opublikowany w monografii: Współczesne problemy obróbki ściernicy, Koszalin 2009, str. 391-400.
- Lajmert Paweł, Kruszyński Bogdan: *A diagnostic system for cylindrical plunge grinding process based on Hilbert-Huang transform and principal component analysis*. 5th International Conference on Advances in Production Engineering, Warsaw 2010, str. 117-126.

#### Publikacje

- Lajmert Paweł, Kruszyński Bogdan, Wrąbel Dariusz: *An Intelligent Sensor Based Supervision System for Cylindrical Grinding Processes*. Journal of Machine Engineering, Vol. 9, No. 1, Wrocław 2009, str. 113-120.
- Lajmert Paweł: *An application of Hilbert-Huang transform and principal component analysis for diagnostics of cylindrical plunge grinding process*. Journal of Machine Engineering, Vol. 10, No. 1, Wrocław 2010, str. 39-49.

#### Prace mgr, dr, hab.

##### Prace magisterskie obronione:

- Szadkowski Radosław, „Szlifowanie materiałów i stopów trudnoobrabialnych”, Promotor: Prof. Bogdan Kruszyński
- Świerczyński Jakub, „Nowe sposoby chłodzenia w procesie szlifowania i ich wpływ na koszty”, Promotor: dr hab. inż. Ryszard Wójcik
- Kaszewski Rafał, „Wpływ procesu szlifowania na odkształcenia przedmiotów”, Promotor: dr hab. inż. Ryszard Wójcik
- Mariusz Podgórski, „Napęd główny stołu szlifierki SWF 25 za pomocą przekładni śruba – nakrętka toczna”, Promotor: dr inż. Paweł Lajmert
- Andrzej Beksiński, „Projekt stanowiska laboratoryjnego do aktywnej kontroli wymiaru i kształtu na szlifierkach”, Promotor: dr inż. Paweł Lajmert
- Goio Zamora, „Machinability of Superalloys”, Praca zrealizowana w International Faculty of Engineering 2010 roku, Promotor: Prof. Bogdan Kruszyński
- Tomasz Niedźwiecki, „Automatyzacja procesu obciążania ściernicy na szlifierce kłowej do wałków ze sterowaniem wykorzystującym sterownik PLC”, Promotor: dr Paweł Lajmert.

##### Prace habilitacyjne

Tytuł: „Automatyczny nadzór procesu szlifowania kłowego wałków”

Autor: Dr inż. Paweł Leżański

Status: W trakcie realizacji

##### Prace habilitacyjne

Tytuł: „Automatyczny nadzór procesu szlifowania kłowego wałków”

Autor: Dr inż. Paweł Lajmert

Status: W trakcie realizacji