

### 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

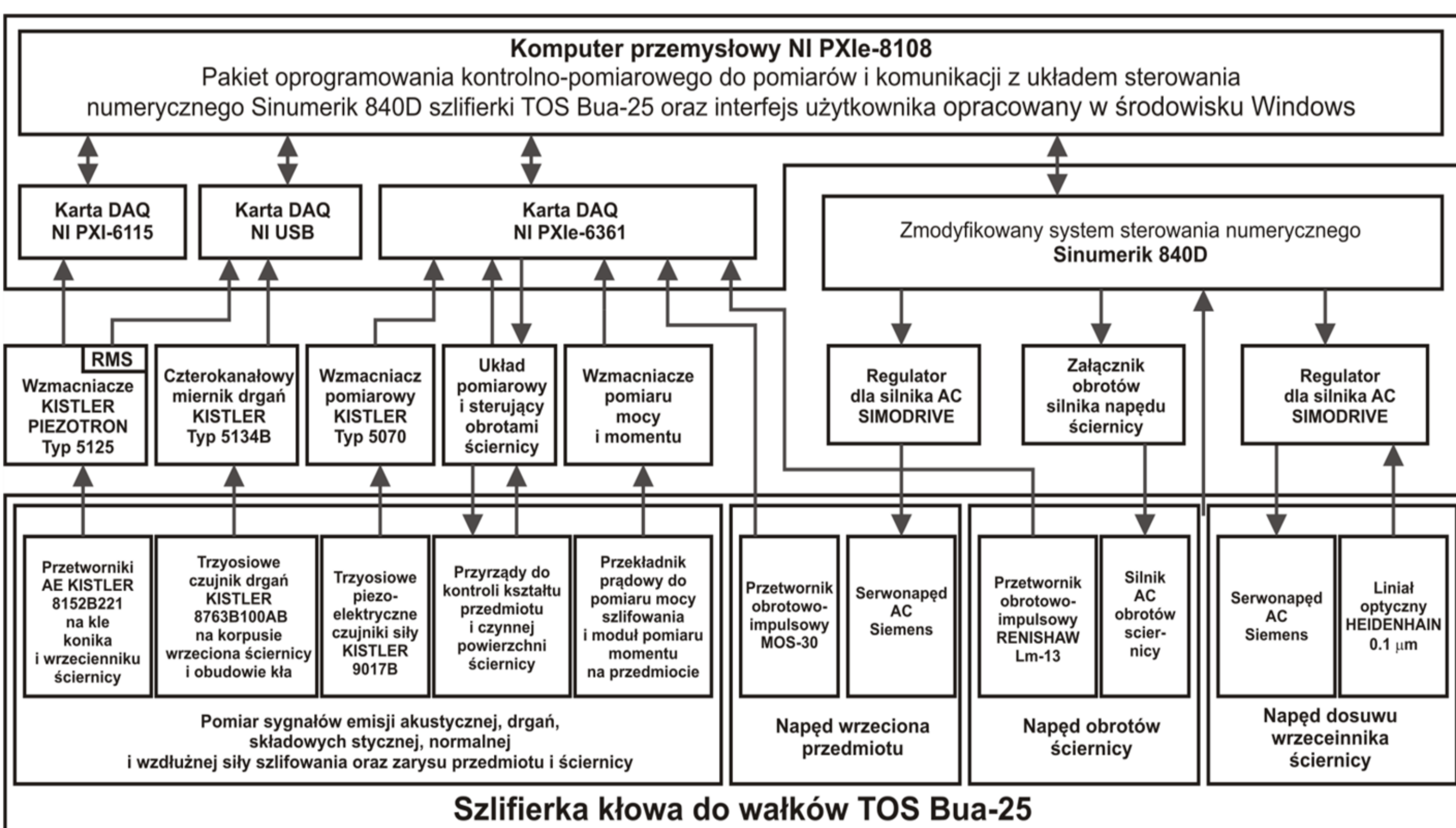
#### Results

- Przebudowa wrzeciennika ściernicy szlifierek TOS BUA-25 oraz Tacchella w celu zamontowania piezoelektrycznych czujników siły firmy Kistler. Przeprowadzono wzorcowanie torów pomiaru składowych odporowej, stycznej i osiowej siły szlifowania. *Conversion of grinding wheel headstock of TOS BUA-25 and Tacchella grinding machines in order to mount piezoelectric three axis Kistler force sensors. Calibration of measurement channels of tangential, normal and axial force components.*
- Opracowano modele procesu szlifowania (siły, odkształceń sprężystych, dynamiki procesu szlifowania, temperatury, geometrii powierzchni obrabianej i ściernicy). *Development of grinding process models (force, workpiece elastic deformation, dynamics, temperature and geometry of the workpiece and grinding wheel).*
- Opracowano oprogramowanie pomiarowe do rejestracji składowych sił szlifowania, drgań, emisji akustycznej, falistości przedmiotu i ściernicy oraz mikrogeometrii ściernicy. *Development of measurement software for acquisition of force components, grinding vibrations, acoustic emission signal, shape of the workpiece and grinding wheel and micro-geometry of grinding wheel.*
- Opracowano oprogramowanie do analizy parametrów makro i mikrogeometrii czynnej powierzchni ściernicy CPS. *Development of software for analysis of macro and micro-geometry of grinding wheel.*
- Opracowano algorytmy identyfikacji wczesnych symptomów niepożądanych stanów procesu, tj. uszkodzeń cieplnych, drgań samowzbudnych, wykruszenia się ściernicy, itp. z wykorzystaniem metod analizy składowych głównych PCA i modeli regresji z użyciem PCA (Principal component regression PCR), składowych niezależnych ICA i drzew decyzyjnych - zadanie w trakcie realizacji. *Development of algorithms for identification of early symptoms of undesired process states, i.e. thermal defects, chatter vibrations, self-sharpening of grinding wheel, etc. with the use of standard and Kernel principal and independent component analysis and decision trees/Petri Nets. Task during realization.*
- Opracowano algorytmy estymacji parametrów warstwy wierzchniej przedmiotów obrabianych - zadanie w trakcie realizacji. *Development of algorithms for estimation of workpiece surface layer parameters. Task during realization.*
- Przeprowadzono badania procesu szlifowania dla lotniczych i konwencjonalnych materiałów obrabianych w celu przygotowania danych dla modeli procesu szlifowania oraz weryfikacji tych modeli - zadanie w trakcie realizacji. *Research of grinding process for conventional and hard to machine materials in order to prepare data for grinding process models. Task during realization.*

#### Zadania inteligentnego systemu szlifowania trudnoobrabialnych stopów lotniczych (Tasks of the intelligent grinding system)

- Automatyczny dobór najodpowiedniejszej ściernicy i chłodziwa dla danego materiału obrabianego z wykorzystaniem systemów baz danych. *Automatic selection of the most suitable grinding wheel and coolant for different materials being ground based on data bases.*
- Dobór parametrów technologicznych obróbki z wykorzystaniem systemów baz danych i opracowanych modeli procesu szlifowania. *Selection of grinding kinematic parameters with the use of data bases and grinding process models.*
- Identyfikacja różnych stanów procesu szlifowania, tj. drgań samowzbudnych, przypałów, itp. *Identification of different states of grinding process, i.e. chatter vibrations, thermal damages, etc.*

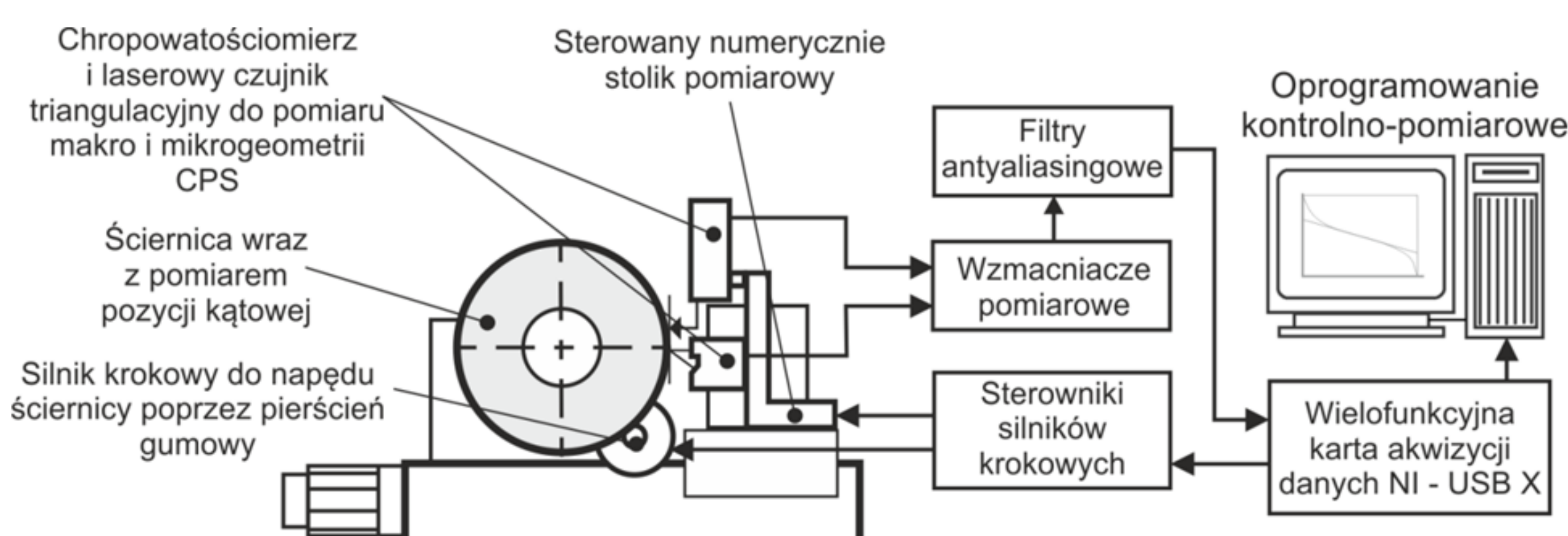
#### Stanowisko badawcze dla zmodernizowanej szlifiarki TOS Bua-25



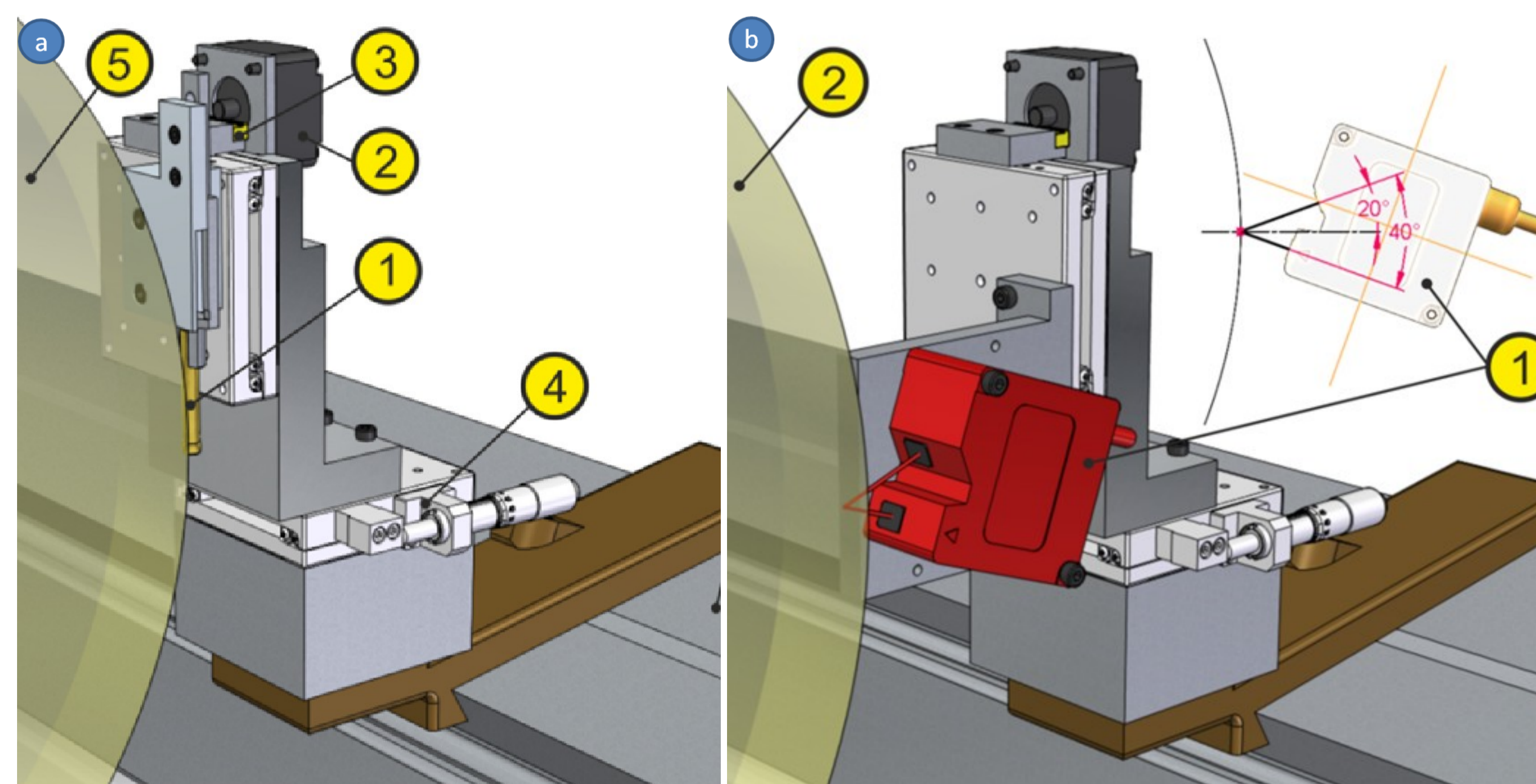
Rys. 1. Struktura układów pomiarowych i sterujących zmodernizowanej szlifiarki kłowej do wałków TOS Bua-25. Fig. 1. Structure of control and measurement devices of grinding machine TOS Bua-25.

#### Systemy pomiaru mikro-geometrii ściernicy

Prezentowane stanowisko badawcze poza układami pomiarowymi pracującymi w trybie on-line zostało wyposażone również w działające w trybie off-line układy pomiaru parametrów makro i mikrogeometrii czynnej powierzchni ściernicy. Schemat stanowiska do pomiarów parametrów czynnej powierzchni ściernicy (CPS) przedstawiono na rysunku 2. Na rysunku 3 przedstawiono widok przyrządu do pomiaru mikrogeometrii CPS wykorzystującego głowicę chropowatościomierza oraz triangulacyjny czujnik laserowy.



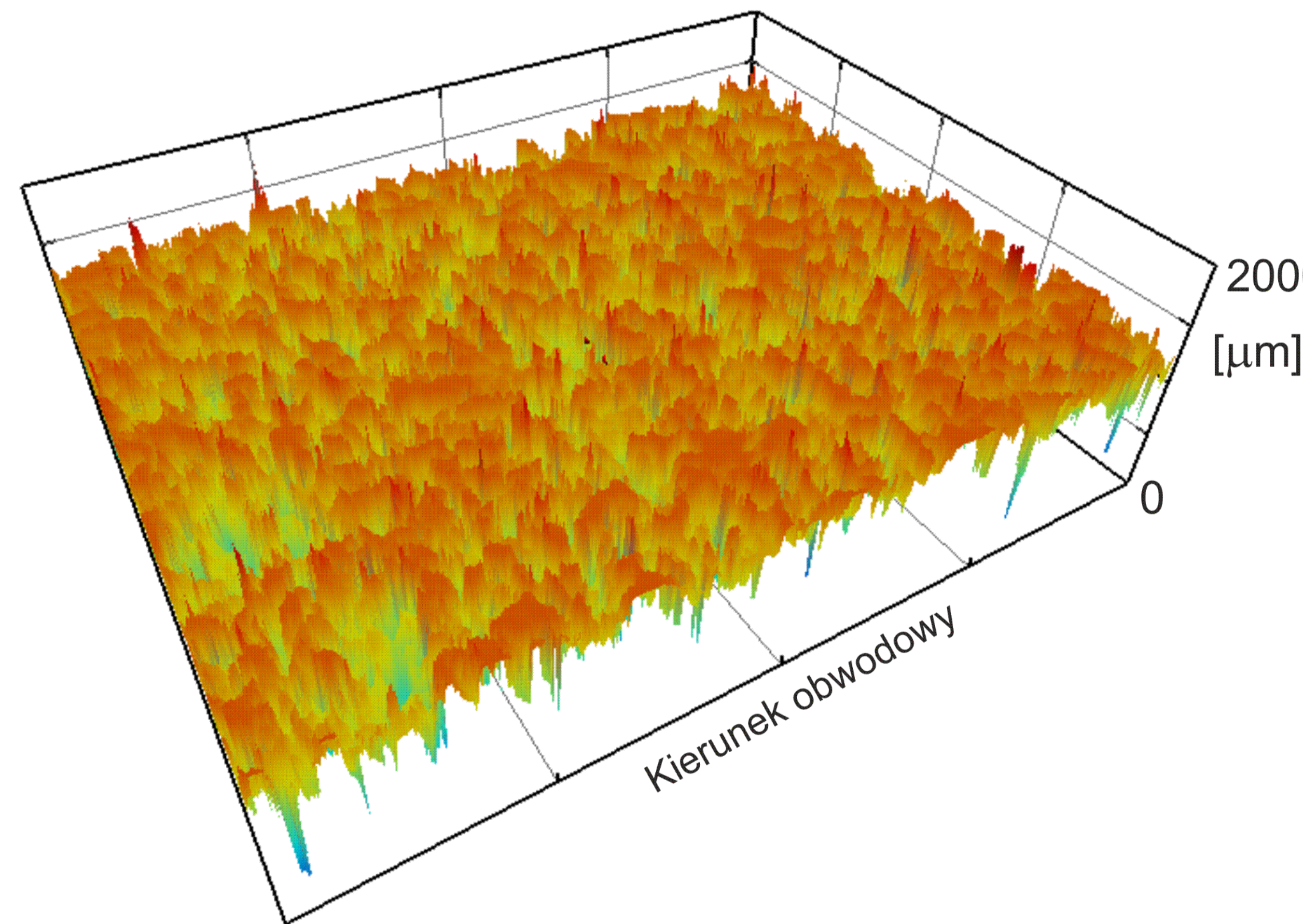
Rys. 2. Schemat stanowiska do pomiaru topografii CPS. Fig. 2. Layout of the test stand for the measurement of grinding wheel micro- and macro-topography.



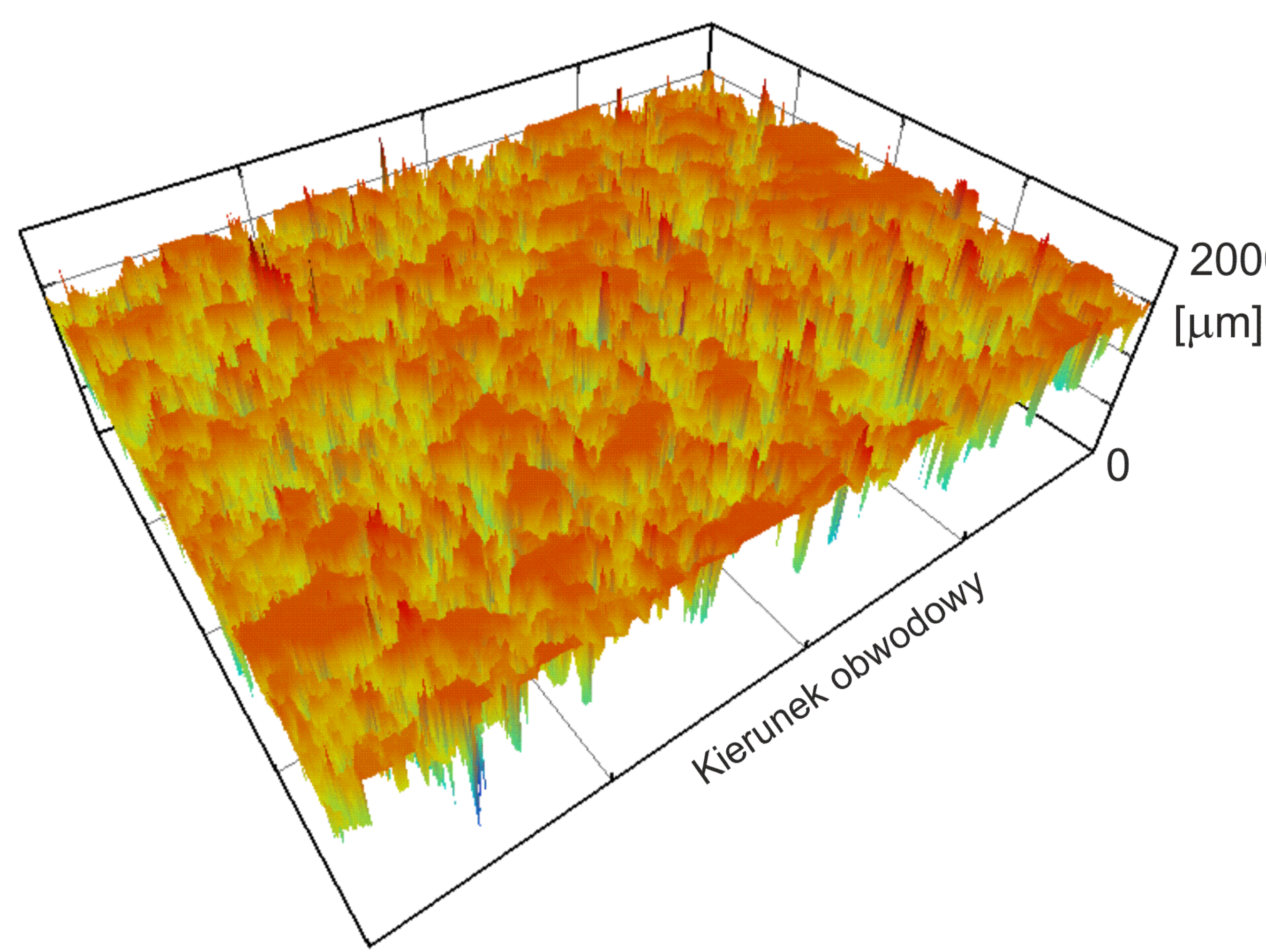
Rys. 3. Widok przyrządu do pomiaru mikrogeometrii CPS z: a) głowicą chropowatościomierza (1 – głowica chropowatościomierza, 2 – silnik krokowy, 3 – przekładnia koło zębate – zębátka, 4 – stolik do pozycjonowania głowicy chropowatościomierza, 5 – ściernica); b) triangulacyjnym czujnikiem laserowym (1 – czujnik laserowy Keyence LK-H020, 2 – ściernica). Fig. 3. View of the device for measurement of micro-topography of grinding wheel with: a) roughness measurement head (1 - roughness measurement head, 2 - stepper motor, 3 - transmission unit, 4 - table for measurement tip positioning, 5 - grinding wheel); b) triangular laser sensor (1 - laser sensor Keyence LK-H020, 2 - grinding wheel).

#### Badania doświadczalne procesu szlifowania

Badania przeprowadzono dla stali 30HMJ i stopu tytanu TB-2 metodą wcinającą przy prędkości skrawania  $v_s = 50$  m/s ściernicą 99A60k9V firmy Tyrolit. Podczas badań prędkość dosuwu ściernicy  $v_f$  wynosiła 2, 6 lub 10  $\mu\text{m/s}$ , natomiast prędkości obwodowe przedmiotu  $v_w$  wynosiły 100, 600 i 2000 mm/s ( $d_w = 100\text{mm}$ ). Przy każdej próbie zbierano około 80  $\text{mm}^3/\text{mm}$  materiału przedmiotu. Parametry obciążenia ściernicy były następujące: cztery przejścia po 20 mm z czego pierwsze 4 i 5 przedstawiono przykładowe topografie ściernicy ostrej (rys. 4a) i stępionej (rys. 4b) uzyskane przy wykorzystaniu czujnika laserowego LK-H020. Do akwizycji danych topografii CPS opracowano specjalizowane oprogramowanie kontrolno-pomiarowe, obejmujące wstępną filtrację rejestrowanego sygnału, wizualizację pomiarów oraz ich wstępne przetwarzanie.

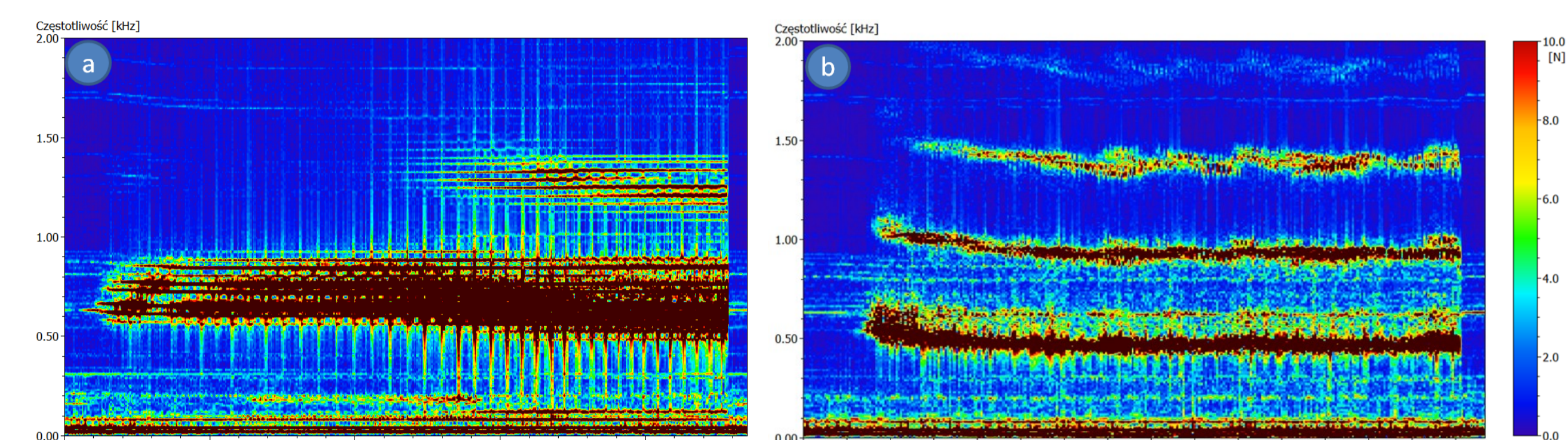


Rys. 4. Topografia dla ściernicy ostrej. Fig. 4. Grinding wheel topography for sharp grinding wheel.

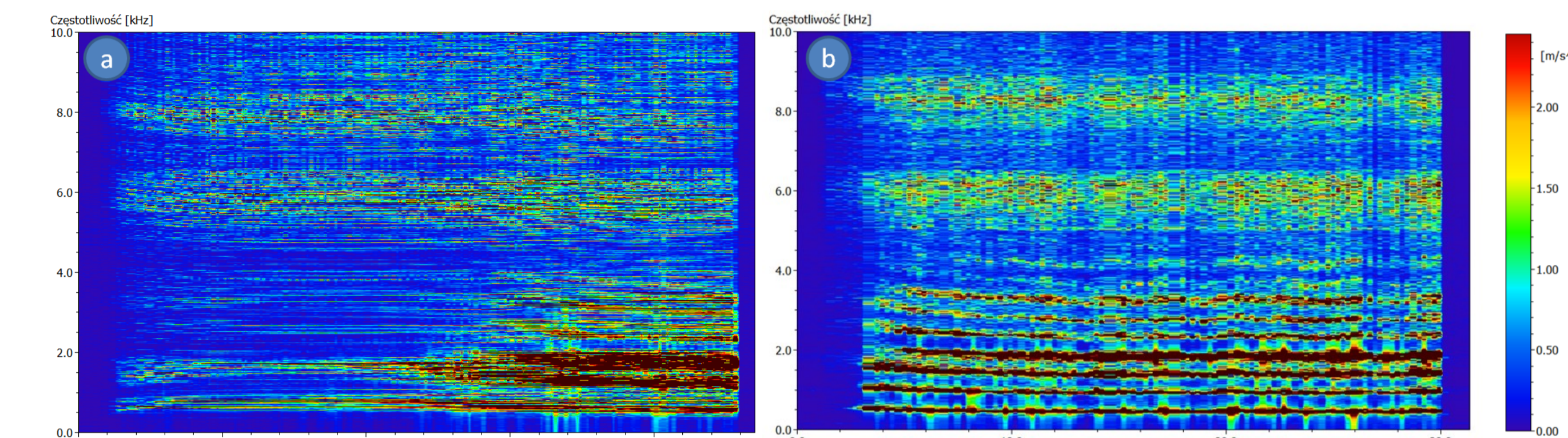


Rys. 5. Topografia dla ściernicy stępionej. Fig. 5. Grinding wheel topography for worn grinding wheel.

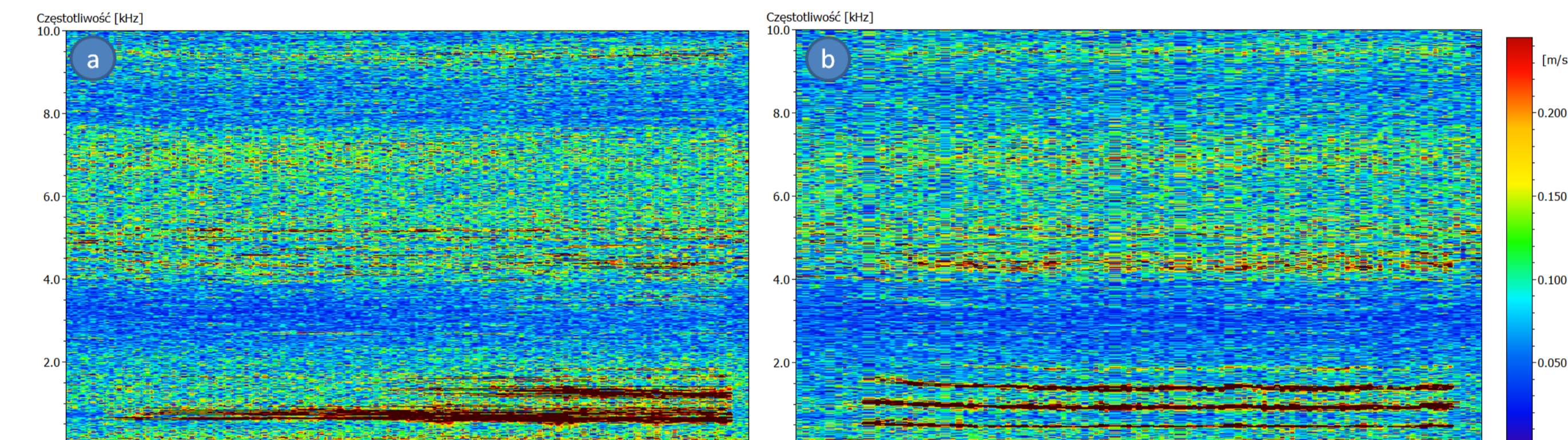
Opracowane oprogramowanie kontrolno-pomiarowe pozwala na rejestrację wszystkich sygnałów pomiarowych oraz ich analizę w czasie rzeczywistym. Na rysunkach od 6 do 8 przedstawiono przykładowe charakterystyki FFT ze składowej normalnej siły szlifowania oraz drgań w kierunku normalnym na kle konika i wrzecienniku ściernicy.



Rys. 6. Widmo amplitudy składowej siły normalnej  $F_n$ : a) IV próba -  $v_w = 600$  mm/s,  $v_f = 6$   $\mu\text{m/s}$  (drgania samowzbudne ściernicy); b) I przejscie -  $v_w = 2000$  mm/s,  $v_f = 6$   $\mu\text{m/s}$  (drgania samowzbudne przedmiotu). Fig. 6. Amplitude spectrum of normal component of grinding force  $F_n$ : a) IV infed test -  $v_w = 600$  mm/s,  $v_f = 6$   $\mu\text{m/s}$  (grinding wheel chatter vibrations); b) I infed test -  $v_w = 2000$  mm/s,  $v_f = 6$   $\mu\text{m/s}$  (workpiece chatter vibrations).



Rys. 7. Widmo amplitudy sygnału drgań na kle konika w kierunku normalnym: a) IV przejscie przy  $v_w = 600$  mm/s,  $v_f = 6$   $\mu\text{m/s}$ ; b) I przejscie przy  $v_w = 2000$  mm/s,  $v_f = 6$   $\mu\text{m/s}$ . Fig. 7. Amplitude spectrum of vibration signal on tailstock centre: a) IV infed test -  $v_w = 600$  mm/s,  $v_f = 6$   $\mu\text{m/s}$ ; b) I infed test -  $v_w = 2000$  mm/s,  $v_f = 6$   $\mu\text{m/s}$ .



Rys. 8. Widmo amplitudy sygnału drgań na wrzecienniku ściernicy w kierunku normalnym: a) IV przejscie przy  $v_w = 600$  mm/s,  $v_f = 6$   $\mu\text{m/s}$ ; b) I przejscie przy  $v_w = 2000$  mm/s,  $v_f = 6$   $\mu\text{m/s}$ . Fig. 8. Amplitude spectrum of vibration signal on grinding wheel headstock: a) IV infed test -  $v_w = 600$  mm/s,  $v_f = 6$   $\mu\text{m/s}$ ; b) I infed test -  $v_w = 2000$  mm/s,  $v_f = 6$   $\mu\text{m/s}$ .

#### Wnioski

#### Conclusions

- Opracowane oprogramowanie pomiarowe pozwala na rejestrację i analizę mierzonych sygnałów w czasie rzeczywistym. *Development of grinding process models. A high correlation of the developed models with grinding results was obtained.*
- Opracowane algorytmy diagnostyki pozwalają na wczesne wykrywanie niepożądanych stanów procesu, np. przypałów czy drgań samowzbudnych. *Developed diagnostic algorithms allow for detection of early symptoms of undesired process states, i.e. grinding burn or chatter vibrations.*

#### Przykłady zastosowania w lotnictwie

#### Examples of application in aviation

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



#### Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym

#### Collaboration with aviation industry

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.

#### Wskaźniki realizacji celów projektu

#### Indicators of the project

- Referaty**
- Lajmert Paweł, Kruszyński Bogdan, Wrąbel Dariusz: *Identyfikacja wczesnych symptomów niepożądanych stanów procesu w szlifowaniu kłowym wałków*, XXXIII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Gdańsk 2011.

- Publikacje**
- Kruszyński B.; *Modelowanie procesów szlifowania*; Mechanik, nr 12/2011 ISSN 0025-6552.
  - Lajmert Paweł, Kruszyński Bogdan, Wrąbel Dariusz: *Inteligentny system kompensacji zakłóceń w procesie szlifowania kłowego wałków*, XXXIV Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Wrocław 2012.
  - Lajmert Paweł, Kruszyński Bogdan, Wrąbel Dariusz: *Identyfikacja wczesnych symptomów niepożądanych stanów procesu w szlifowaniu kłowym wałków*, Inżynieria Maszyn, Zeszyt 4/2010, wydano w 2011r, Pod redakcją Bogdana Kruszyńskiego, Wydawnictwo Wrocławskiej Rady FSNT NOT, str. 78-94.

- Prace mgr, dr i hab.**
- Prace magisterskie**
- Sosnowski Daniel: *Badanie sił skrawania i chropowatości powierzchni podczas szlifowania głębokiego stopu niklu*. Promotor: Prof. dr hab. inż. Bogdan Kruszyński.
  - Wieteska Krzysztof: *Badanie sił skrawania i chropowatości powierzchni podczas szlifowania głębokiego stopu tytanu*. Promotor: Prof. dr hab. inż. Bogdan Kruszyński.
  - Szadkowski Radosław: *Szlifowanie materiałów i stopów trudnoobrabialnych*. Promotor: Prof. dr hab. inż. 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
  - Goio Zamora: *Machinability of Superalloys*. Praca zrealizowana w International Faculty of Engineering, 2010 rok, Promotor: Prof. Bogdan Kruszyński
  - Tomasz Niedźwiecki: *Automatyzacja procesu obciążania ściernicy na szlifiarce kłowej do wałków ze sterowaniem wykorzystującym sterownik PLC*. Promotor: dr inż. Paweł Lajmert

- Prace habilitacyjne**
- Dr inż. Paweł Lajmert: *Inteligentny system kompensacji zakłóceń w procesie szlifowania kłowego wałków*, praca w trakcie realizacji.