

Modelowanie, konstruowanie i kontrolowanie procesu HSM z uwzględnieniem skonfigurowanego układu maszyna-przyrząd-detal

Politechnika Rzeszowska, Politechnika Warszawska

Wyniki badań

Układy diagnostyki stanu narzędzia i procesu skrawania dla przemysłu lotniczego

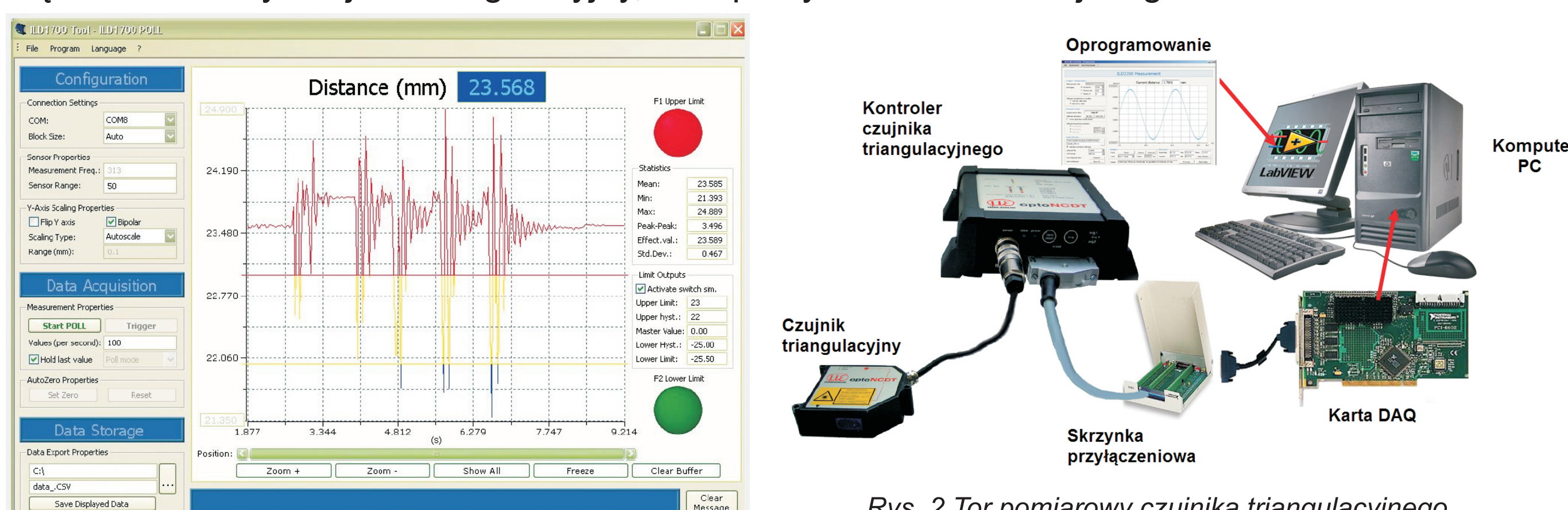
Automatyczny pomiar zużycia ostrza stanowi istotne zagadnienie nadzoru procesów obróbki, umożliwia zwiększenie wydajności oraz redukcję kosztów pracy obrabiarek. Pomimo prowadzenia licznych prac badawczych, nie udało się opracować zadowalających rozwiązań. W ramach projektu opracowane zostaną trzy koncepcje automatycznego pomiaru zużycia ostrza: specjalna sonda narzędziowa, system wizyjny oraz układ diagnostyki oparty o czujniki sił skrawania, emisji akustycznej i drgań.

Budowa sondy narzędziowej z funkcją pomiaru zużycia ostrza. Opracowanie projektu, dobór elementów, oprogramowania i wykonania toru pomiarowego do badań sondy z funkcją pomiaru zużycia.

Celem niniejszego etapu prac było teoretyczne opracowanie i przygotowanie do budowy stanowisk laboratoryjnych. Wykonano schematy połączeń elektrycznych, dobór elementów mocujących, przetworników, prace koncepcyjne oprogramowania torów pomiarowych. Opracowano założenia dwóch stanowisk badawczych:

- do badania dokładności pomiaru przemieszczenia czujnikiem indukcyjnym (LVDT);
- do badania dokładności pomiaru przesunięcia bezdotykowym czujnikiem pojemnościowym.

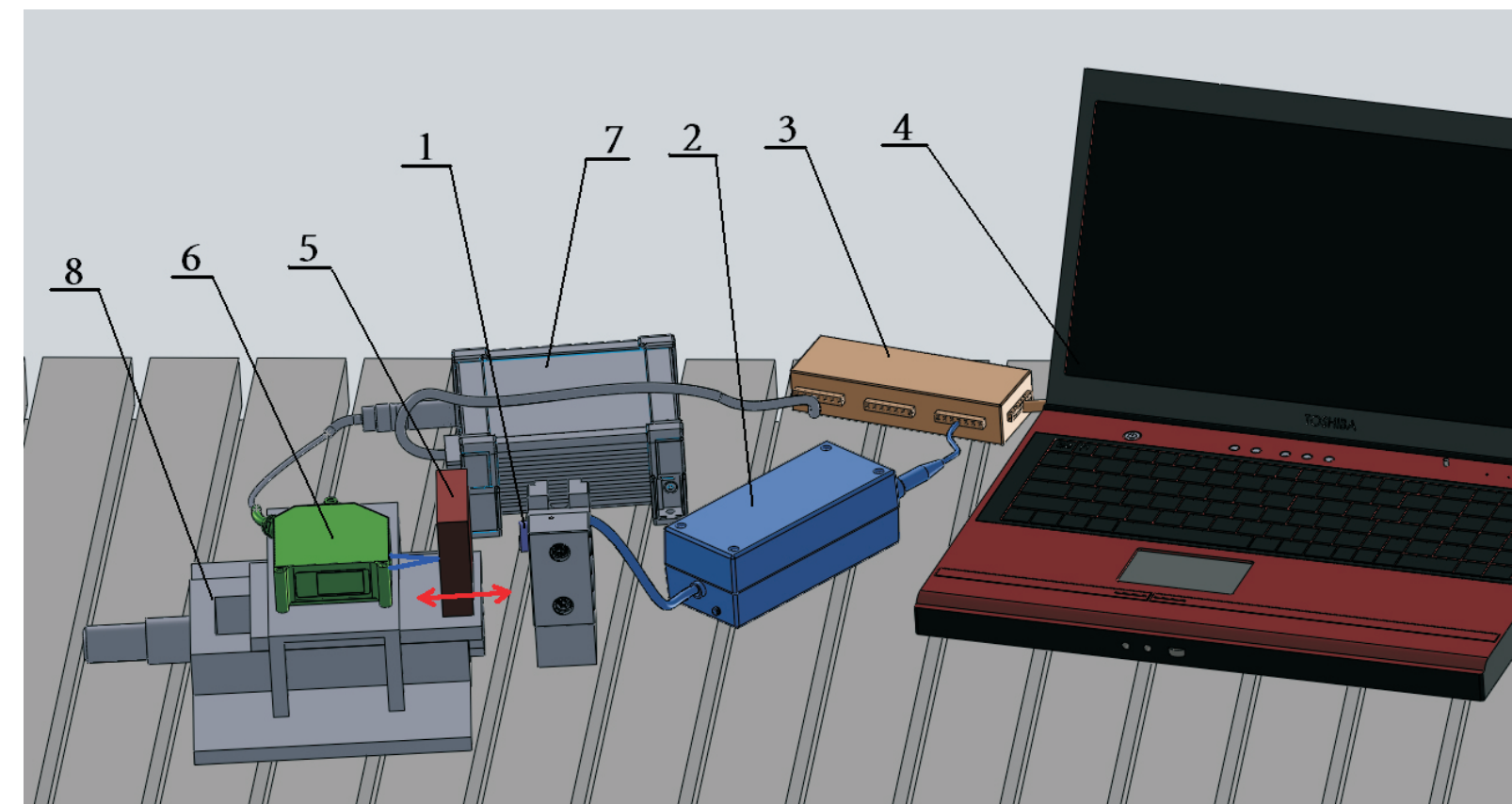
W obu stanowiskach jako element wzorcowy określania wartości pomiaru wykorzystany będzie laserowy czujnik triangulacyjny, zakupiony w ramach niniejszego zadania.



Rys. 1 Oprogramowanie konfiguracji czujnika triangulacyjnego.

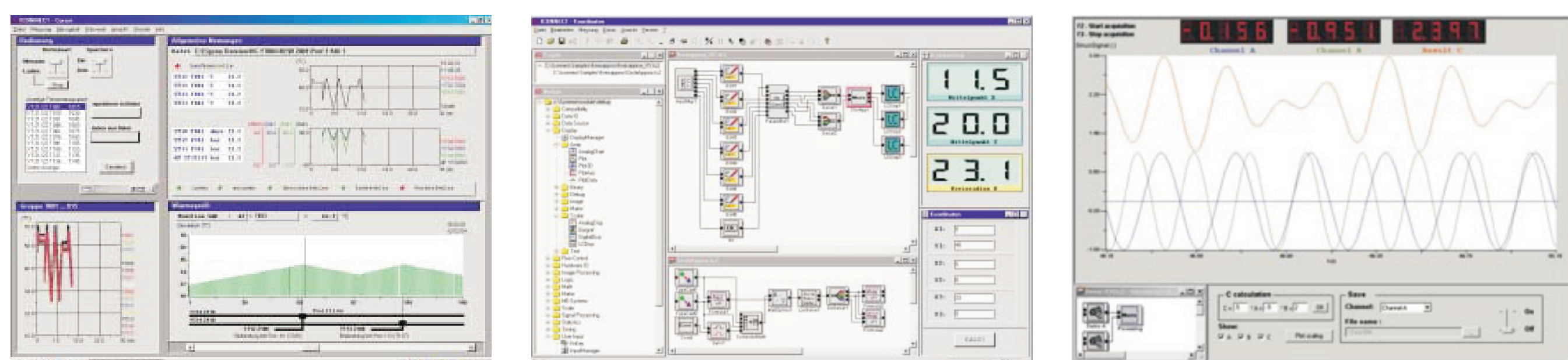
Rys. 2 Tor pomiarowy czujnika triangulacyjnego.

ILD Tools jest oprogramowaniem dedykowanym dla komputera klasy PC (z systemem Windows). Oprogramowanie pozwala na wizualizację oraz archiwizację wyników pomiarów. Połączenie z PC jest zapewnione przez kabel czujnika z konwerterem USB lub RS-232. Dostępne są również biblioteki DLL z dokumentacją, które zapewniają łatwą integrację



Rys. 3 Wstępna konfiguracja stanowiska badawczego: kalibracja czujników.

Na rys. 3 zaznaczono cyframi: 1 – czujnik pojemnościowy, 2 – kontroler czujnika pojemnościowego, 3 – Personal DAQ, 4 – laptop z oprogramowaniem do akwizycji danych, 5 – płytka referencyjna, 6 – czujnik triangulacyjny, 7 – kontroler czujnika triangulacyjnego, 8 – stolik mikrometryczny



Rys. 4 Widok przykładowych ekranów - praca w programie.

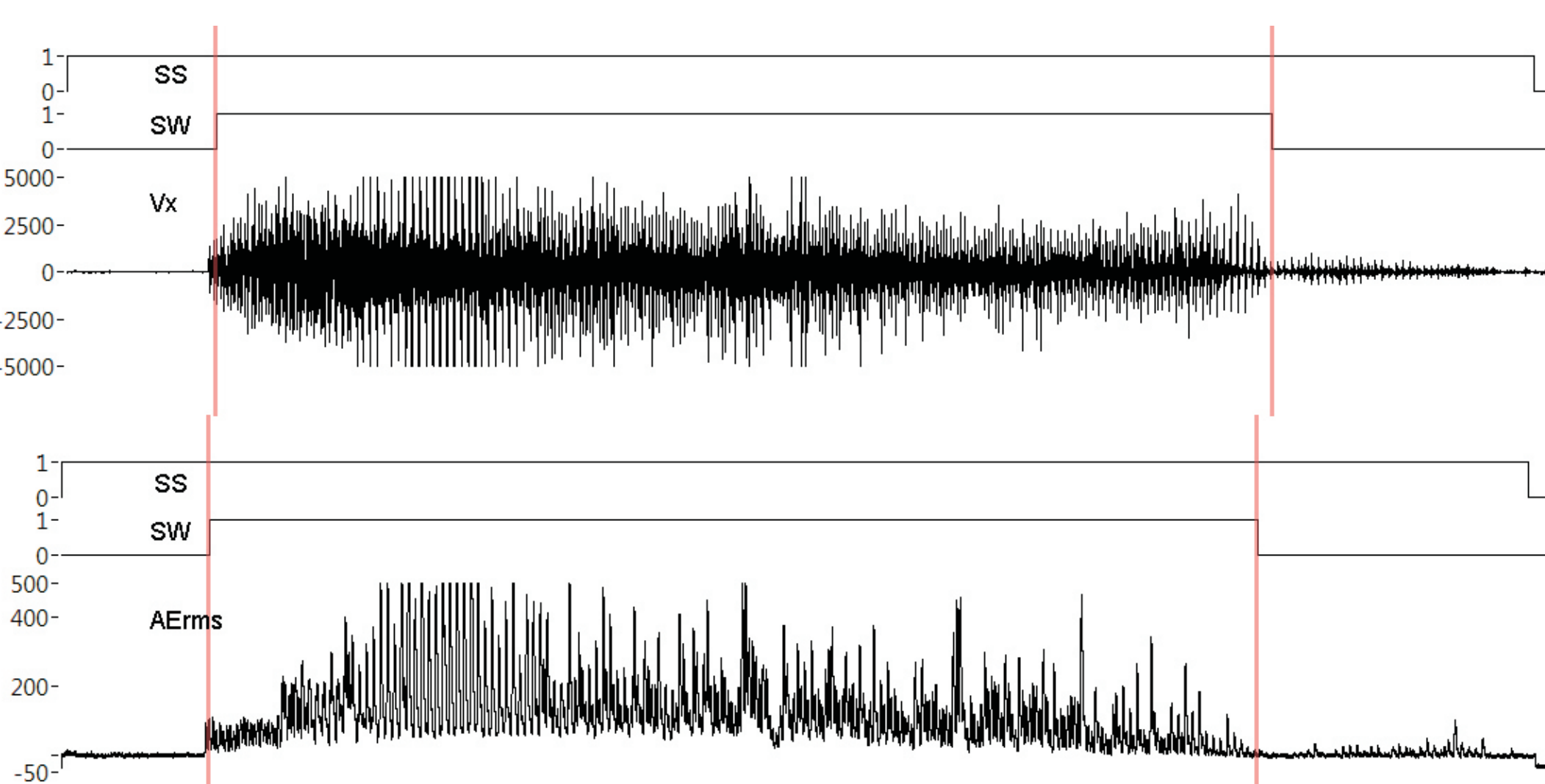
Trójwymiarowa wizualizacja analizy JFTA (Joint Time-Frequency-Analysis), wykorzystuje jeden z wielu dostępnych w programie algorytmów analizy, takie jak filtr wygładzający Furiera do zmniejszania szumów, cyfrowe filtry z charakterystykami, np. Bessel, Czebyszew, Butterworth.

Optymalizacja procedur pomocniczych układu nadzoru stanu narzędzia. Wykrywanie skrawania i segmentacja sygnału.

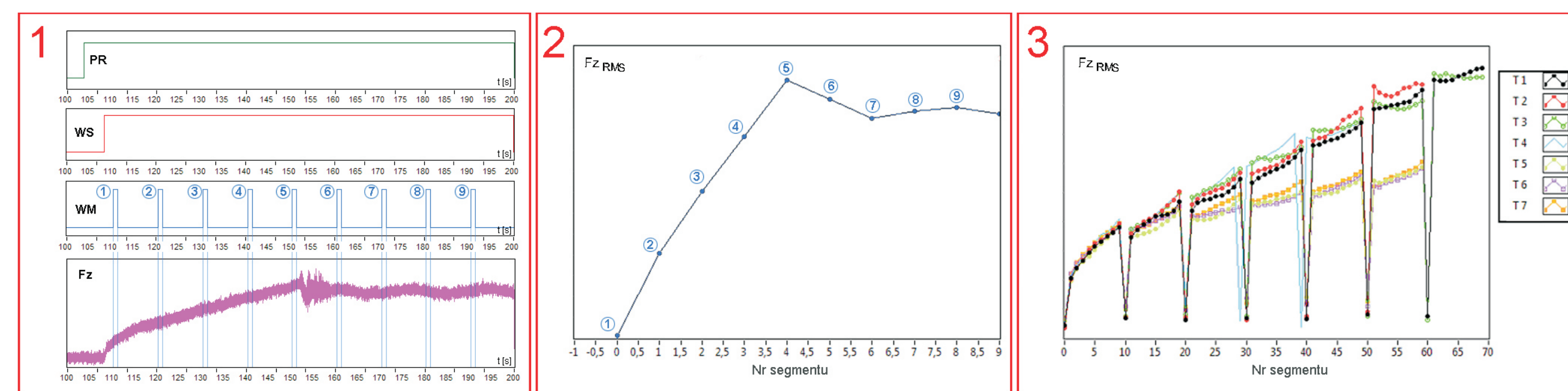
WSTĘP. Działanie układu diagnostyki zużycia ostrza oparte jest na korelacji wartości różnych miar sygnałów diagnostycznych ze stanem ostrza. Przed wyznaczeniem miar należy wybrać fragmenty sygnałów, z których miary te zostaną wyznaczone. Celem niniejszej pracy jest zaprojektowanie algorytmu automatycznego wyznaczenia miar.

AKTUALNY STAN PRAC. Pierwszym z opracowanych algorytmów jest algorytm do automatycznego wykrywania skrawania. Umożliwia on wykrywanie skrawania w oparciu o jeden lub kilka (co zwiększa jego niezawodność) sygnałów diagnostycznych zarejestrowanych w czasie obróbki. Program działa w oparciu o jedną z dwóch możliwych do wyboru metod. Pierwsza metoda – poziom, wykrywa skrawanie, gdy wartość sygnału jest większy dwukrotnie od wartości odchylenia standardowego, wyznaczonego w czasie tarowania sygnału (na początku zabiegu gdy nie występuje skrawanie). Druga metoda - sigma, wykrywa skrawanie, gdy wartość odchylenia standardowego wyznaczonego w czasie 0,01s będzie większa dwukrotnie niż odchylenie standardowe wyznaczone w czasie tarowania sygnału. Drugi

z opracowanych algorytmów służy do automatycznego wyznaczenia miar z sygnałów diagnostycznych. Miary wyznaczone są z fragmentu sygnału (1s). Po wykryciu skrawania pierwsza miara wyznaczone jest po upływie 3s a następnie co 10s. Algorytmy przetestowano na sygnałach zarejestrowanych w czasie badań przeprowadzonych w zakładach WSK Rzeszów i PZL Mielec. Nie stwierdzono żadnych nieprawidłowości w ich działaniu.



Rys. 5 Wykrycie skrawania w oparciu o sygnał wartości skutecznej emisji akustycznej i jednej składowej drgań w procesie frezowania; SS - sygnał posuwu roboczego; SW - sygnał wykrycia skrawania; Vx - sygnał drgań; AEmms - sygnał rms emisji akustycznej.

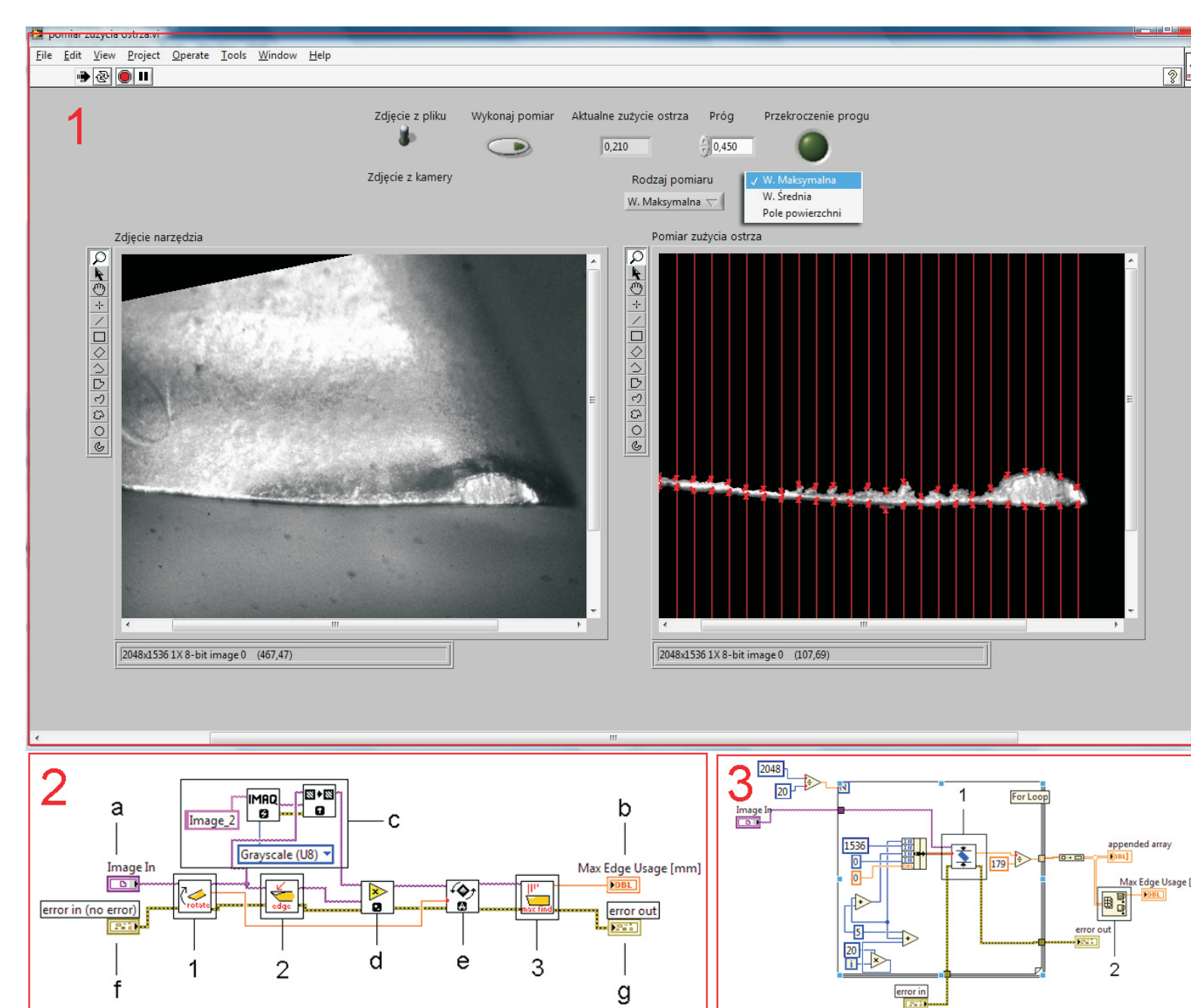


Rys. 6. 1- Segmentacja sygnału: SW - sygnał wykrycia skrawania; SM - sygnał wskazujący fragmenty, z których wyznaczano miary; SS - sygnał posuwu roboczego; Fx, Fy, Fz, AEmms, Vx - sygnały diagnostyczne sił, emisji akustycznej i drgań; 2 - Wyznaczanie pojedynczej miary; 3 - Przykładowe przebiegi wyznaczanych miar.

Zastosowanie metod wizyjnych do diagnostyki stanu narzędzia. Wirtualny układ diagnostyki zużycia ostrza.

WSTĘP. Jedną z możliwości rozwiązania problemu automatycznego pomiaru zużycia ostrza jest zastosowanie, ostatnio dynamicznie rozwijających się w Polsce i na całym świecie, systemów wizyjnych. Komputerowa analiza zdjęć ostrza skrawającego daje szansę bezpośredniego pomiaru geometrycznych wskaźników zużycia ostrza.

KONCEPCJA. Efektem końcowym realizacji zadania ma być system wizyjny do diagnostyki stanu narzędzia przy toczeniu. System składał się będzie z kamery, obiektywu, oświetlaczy zainstalowanych na tokarce CNC, komputera PC połączony z kamerą oraz oprogramowania do automatycznego wykonywania zdjęć i określania na jego podstawie zużycia ostrza.



Rys. 7 Oprogramowanie systemu wizyjnej diagnostyki zużycia ostrza; 1 - Panel czołowy systemu; 2 - program wydobycia obszaru zużycia; 3 - podprogram do wyznaczenia wartości VBmax.

AKTUALNY STAN PRAC. Pierwszym zrealizowanym wcześniej etapem pracy było wstępna ocena przydatności różnych metod analizy obrazu do diagnostyki zużycia ostrza. Obecnie na bazie wytypowanych metod opracowano wirtualny system diagnostyki stanu ostrza. Aplikację zaprojektowano w środowisku programistycznym LabVIEW z dodatkowym modulem funkcji wizyjnych Vision Development Module. Najistotniejszym członem systemu jest czcion przetwarzania i analizy obrazu. Składa się on z trzech podprogramów realizujących kolejne zadania:

1. Wyznaczenie kąta pochylecia krawędzi skrawającej względem krawędzi zdjęcia
2. Wyszczególnienie obszaru obrazu reprezentującego zużycie ostrza
3. Wyznaczenie wartości wskaźnika zużycia ostrza

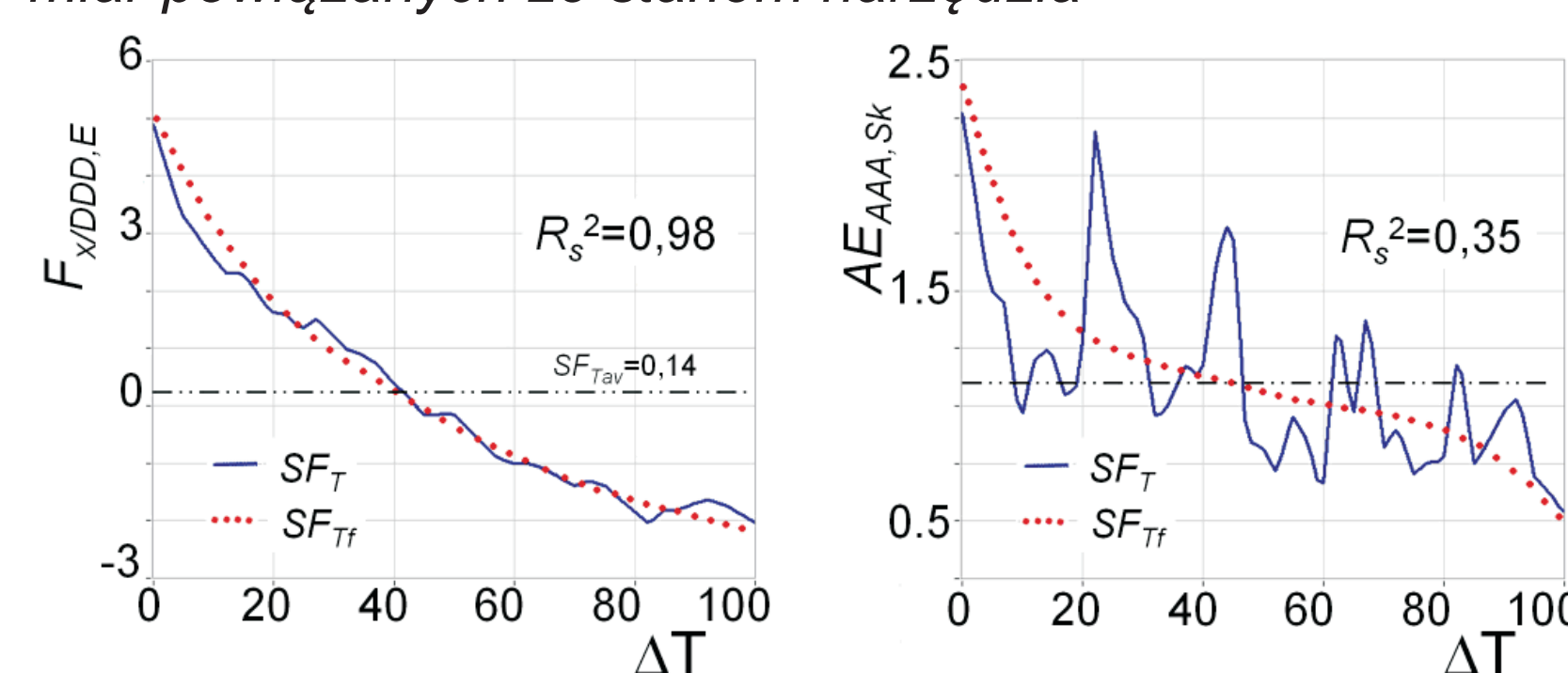
Pierwsze testy wykazały że w działaniu podprogramu 1 i 3 nie ma błędów. Układ błędnie określa zużycie ostrza głównie w przypadku występowania narostu lub dużych ubytków krawędzi skrawającej powstałych np. w wyniku wyruszeń. Jest to spowodowane błędnym określeniem obszaru zużycia

DALSZE ZAMIERZENIA. Opracowanie i budowa stanowiska do wykonywania zdjęć ostrza na tokarce. Wykonanie zdjęć ostrza w trakcie prób trwałościowych. Opracowanie skuteczniejszej metody określania obszaru zużycia ostrza.

Analiza przydatności sygnałów i ich miar do diagnostyki stanu narzędzia.

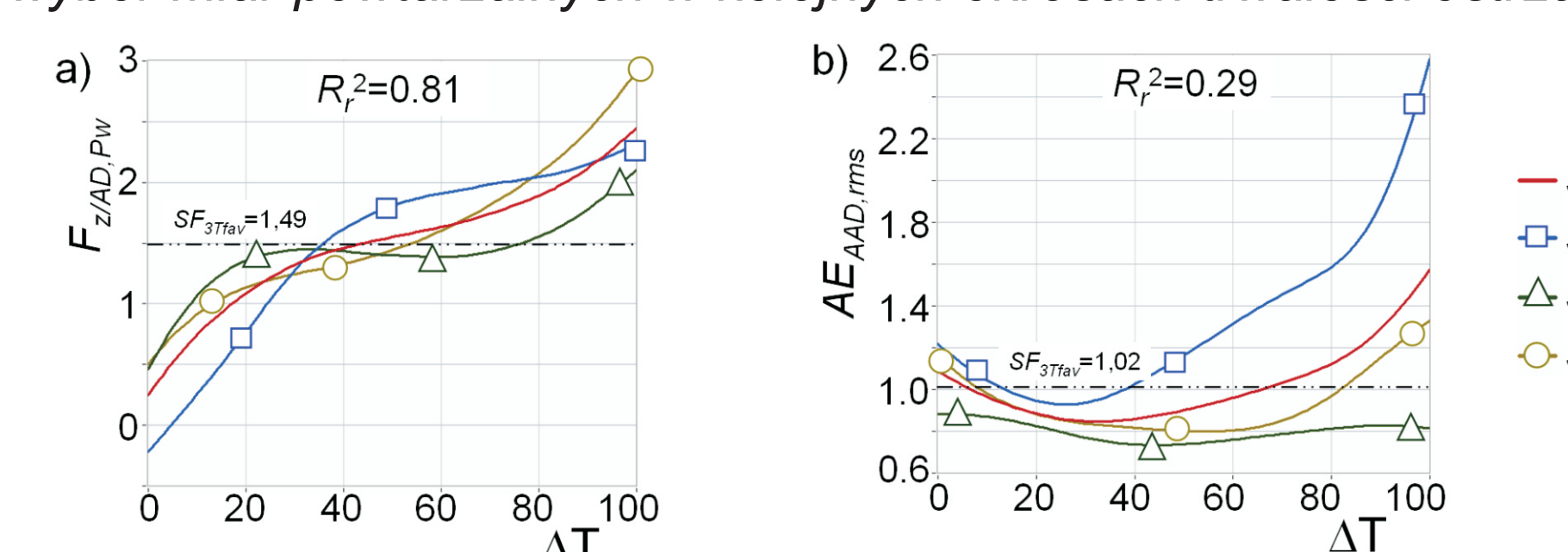
Powszechnie wiadomo, iż zbudowanie układu rzetelnie określającego stan narzędzia, działającego w oparciu o jedną miarę sygnału nie jest możliwe. Nie da się również przewidzieć z góry, jakie miary będą przydatne w konkretnym przypadku obróbkowym. Taki stan rzeczy wymaga wyznaczenia wielu miar sygnałów, a następnie wybrania z spośród nich miar przydatnych do monitorowania stanu narzędzia skrawającego. Opracowana metoda zakłada trzetańpową selekcję:

1. wybór miar powiązanych ze stanem narzędzia



Rys. 8. Przykładowe przebiegi miary powiązanej (lewy); niepowiązanej ze stanem narzędzia (prawy); SF_T - przebieg rzeczywisty; SF_FT - przebieg filtrowany dolnoprzepustowo znormalizowany w dziedzinie okresu trwałości ostrza.

2. wybór miar powtarzalnych w kolejnych okresach trwałości ostrza

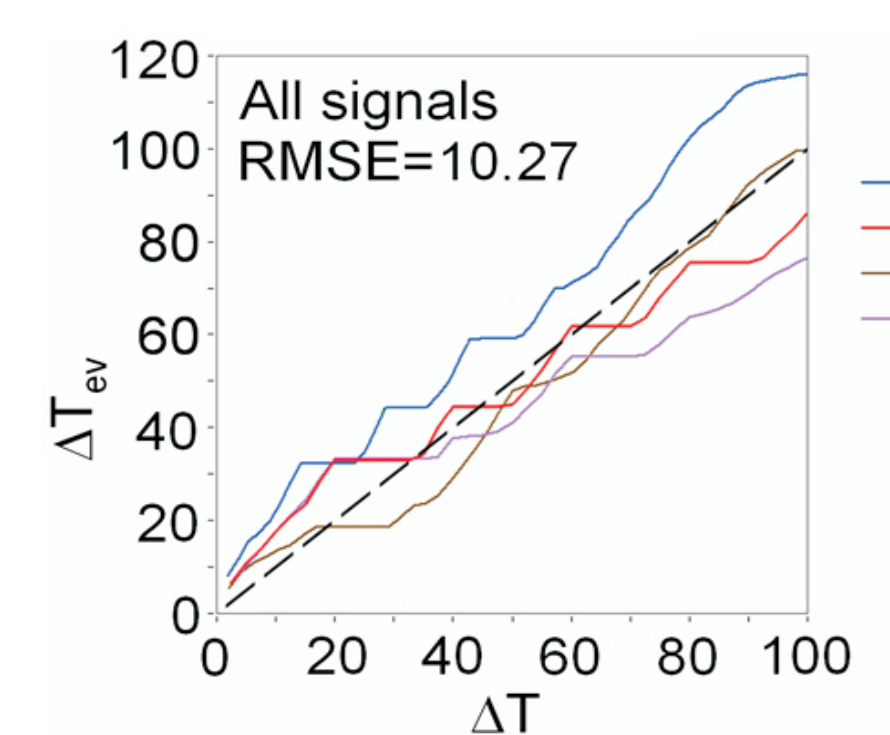


Rys. 9 Przykładowe przebiegi miary powtarzalnej (a); niepowtarzalnej (b), dla trzech pierwszych narzędzi, filtrowane, znormalizowane w dziedzinie okresu trwałości ostrza

3. eliminacja miar podobnych – miary skorelowane ze sobą nawzajem nie niosą nowej informacji o stanie narzędzia skrawającego.

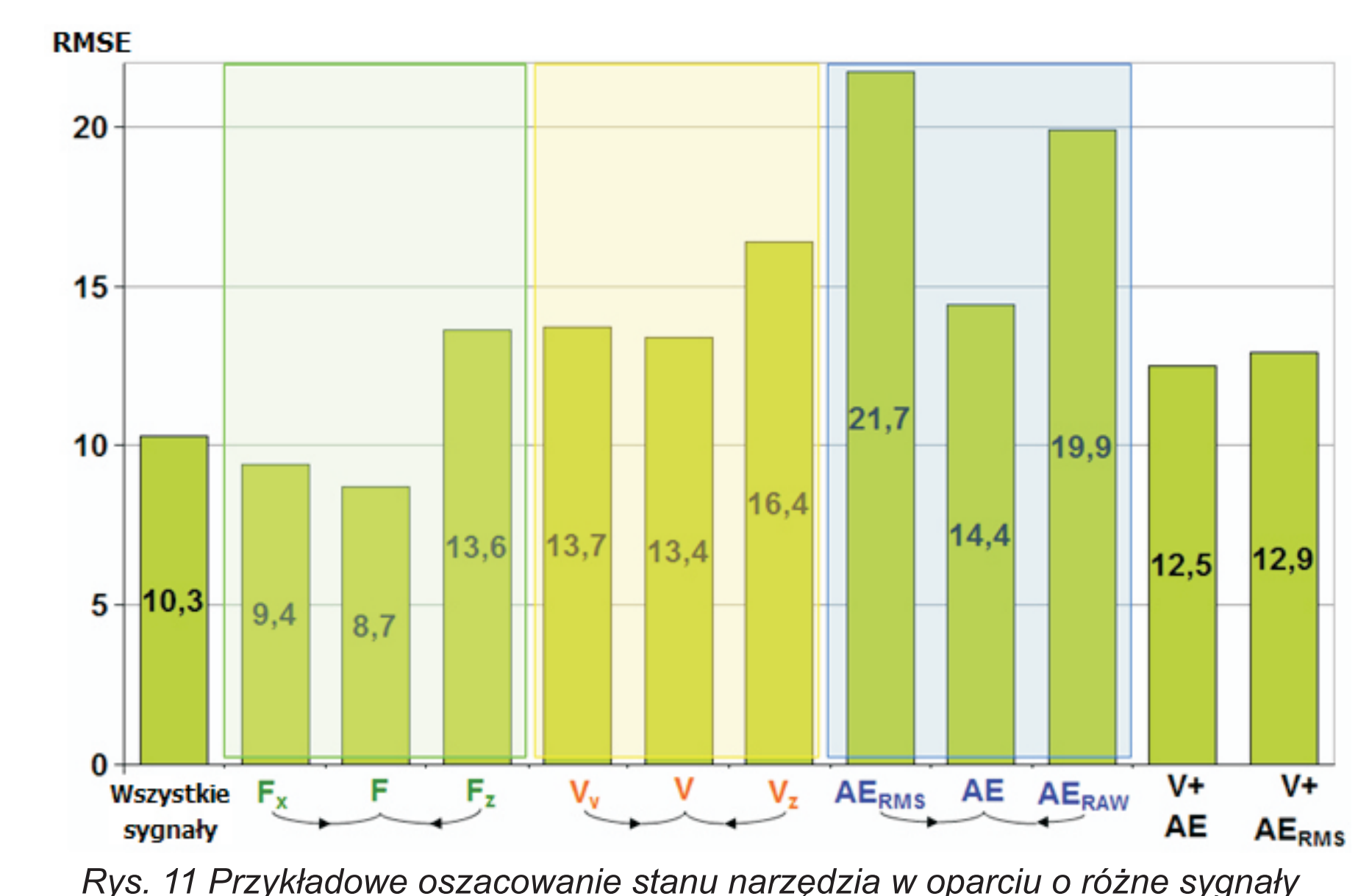
Po zakończeniu automatycznej selekcji prowadzonej według metod opisanych powyżej, z kilkuset wyznaczonych miar sygnałów, jako przydatnych do monitorowania stanu narzędzia uznanych zostaje przeważnie zaledwie kilkanaście. Przykładowy wynik oszacowania stanu narzędzia przeprowadzonego na podstawie wyselekcjonowanych miar przedstawia poniższy rysunek. Czarna przerywana linia przedstawia idealne oszacowanie.

Przeprowadzono również symulacje co by się stało, gdyby nie wszystkie sygnały były dostępne, ponieważ w warunkach przemysłowych nie zawsze można zastosować wszystkie czujniki.



Rys. 10 Oszacowana przez układ wykorzystana część okresu trwałości ostrza (ΔT_w) w funkcji bieżącego zużycia (ΔT) przy uczeniu na trzech pierwszych okresach trwałości i testowaniu na pozostałych czterech

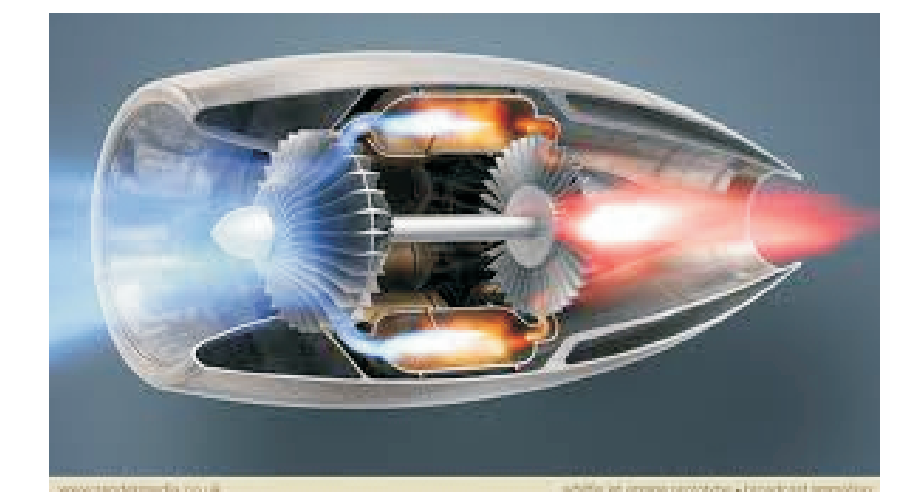
Najlepszy rezultat w tym przypadku uzyskano przy wykorzystaniu dwóch składowych sił skrawania. Przy użyciu wszystkich sygnałów wynik oszacowania jest odrobnie gorszy z powodu słabej powtarzalności miar pochodzących z czujników drgań i emisji akustycznej.



Rys. 11 Przykładowe oszacowanie stanu narzędzia w oparciu o różne sygnały

Przykłady zastosowania w lotnictwie

Obróbka elementów silników odrzutowych takich jak: części komory spalania, łopatki i wały turbin, dysze wylotowe, części sprężarki. Elementy te wykonane są z materiałów trudnoskrawalnych typu inconel, tytan, stале wysokochromowe.



Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym

Rozwiązania opracowane w ramach projektu będą mogły być wdrożone w zakładach takich jak: WSK Rzeszów, PZL Mielec, Ultratech, które wykonują obróbkę elementów silników lotniczych wykonanych z materiałów trudnoskrawalnych.

Wnioski

- **Sonda.** Zastosowanie jednego czujnika pojemnościowego znacznie upraszcza konstrukcję sondy oraz przetwarzanie sygnału i w tym kierunku będą prowadzone prace zespołu.
- **Wirtualny system wizyjny** w zdecydowanej większości przypadków wskazywał fragmenty obszaru zużycia ostrza, pomimo różnego wyglądu jego powierzchni Często jednak były to niepełne pola zużycia, co decydująco wpływało na wynik pomiaru. Błędy te można jednak zminimalizować stosując np. oświetlenie wielokierunkowe Należy zmodyfikować sposób wykonywania pomiaru dodając np. jako linie odniesienia nieużyty fragment krawędzi płytki.
- **Optymalizacja procedur pomocniczych układu nadzoru stanu narzędzia.** Algorytmy wykrywania skrawania i segmentacji sygnału działają prawidłowo i nie wymagają dalszych udoskonaleń.
- **Analiza przydatności sygnałów.** Opracowany algorytm automatycznej selekcji miar sygnałów jest skuteczny w przebadanych przypadkach obróbkowych. Wykorzystując pojedyncze sygnały uzyskano akceptowalne wyniki oszacowania stanu narzędzia, lecz użycie ich razem poprawia rezultat.

Wskaźniki realizacji celów projektu

Referaty

- Jemielniak K., Kossakowska J., **Tool wear monitoring based on wavelet transform of raw acoustic emission signal**, 5th International Conference on Advances in Production Engineering APE'2010, 2010, Warsaw, 77-86
- Jemielniak K., Kossakowska J., Urbański, Bombiński S., **Multi-feature Fusion Based Tool Condition Monitoring in Rough Turning of Inconel 625**, Proceedings of 4th CIRP International Conference on High Performance Cutting, Gifu, Japan, 2010, vol. 2, 285-290.
- Chrzanowski J., Wypysiński R.: **Independent Tool Probe with LVDT for Measuring Dimensional Wear of Turning Edge**, Konferencja Advances in Production Engineering 2010, PW WIP, materiały konferencyjne str. 87-96, Warszawa 2010.

Publikacje

- Teti R., Jemielniak K., O'Donnell G., Dornfeld D., **Advanced monitoring of machining operations (keynote paper)**, CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2010, 59, 2, 717-739.
- Jemielniak K., Kossakowska J., **Tool wear monitoring based on wavelet transform of raw acoustic emission signal**, Advances in Manufacturing Science and Technology, 34, 3, 5-16.
- Chrzanowski J., Wypysiński R., **Independent tool probe with LVDT for measuring dimensional wear of turning edge**, Advances in Manufacturing Science and Technology, nr 34, 3, str. 49-60.
- Oborski P., **Multitagent shop floor control**, Advances in Manufacturing Science and Technology, 34, 3, 61-72.
- Jemielniak K., Kossakowska J., Urbański T., **Application of wavelet transform of acoustic, emission and cutting force signals for tool condition, monitoring in rough turning of Inconel 625**, Proc. IMechE Vol. 225 Part B: J. Engineering Manufacture, DOI: 10.1243/09544054JEM2057
- Jemielniak K., Kossakowska J., Urbański T., **Zastosowanie transformaty falkowej sygnałów sił skrawania i emisji akustycznej do monitorowania stanu narzędzia skrawającego podczas toczenia zgrubnego inconelu 625**, rozdział w książce „Obróbka Skrawaniem 4 – Współczesne Problemy”, Agencja „MAGA”, Łódź, 2010, 237-244.
- Kossakowska J., Jemielniak K., Nejmam M., **Optymalizacja toczenia zgrubnego Inconel 625**, rozdział w książce „Obróbka Skrawaniem 4 – Współczesne Problemy”, Agencja „MAGA”, Łódź, 2010, 389-396.

Prace mgr, dr, hab.

Prace inżynierskie planowane

- Głodek J. **Tokarkowa sonda narzędziowa z dwoma czujnikami przemieszczenia**

Promotor: dr inż. Chrzanowski Jarosław, planowany termin obrony: luty 2011.