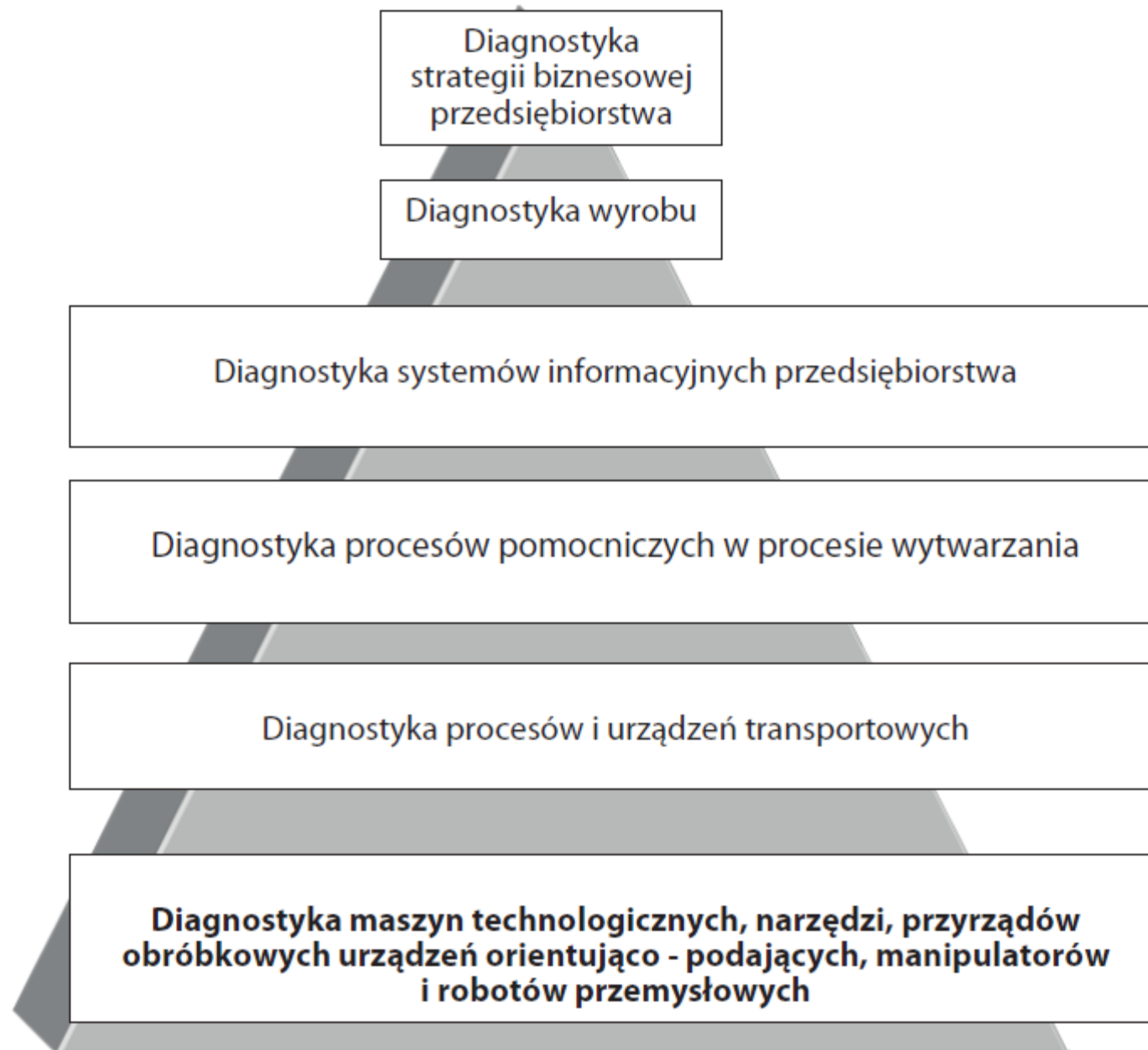
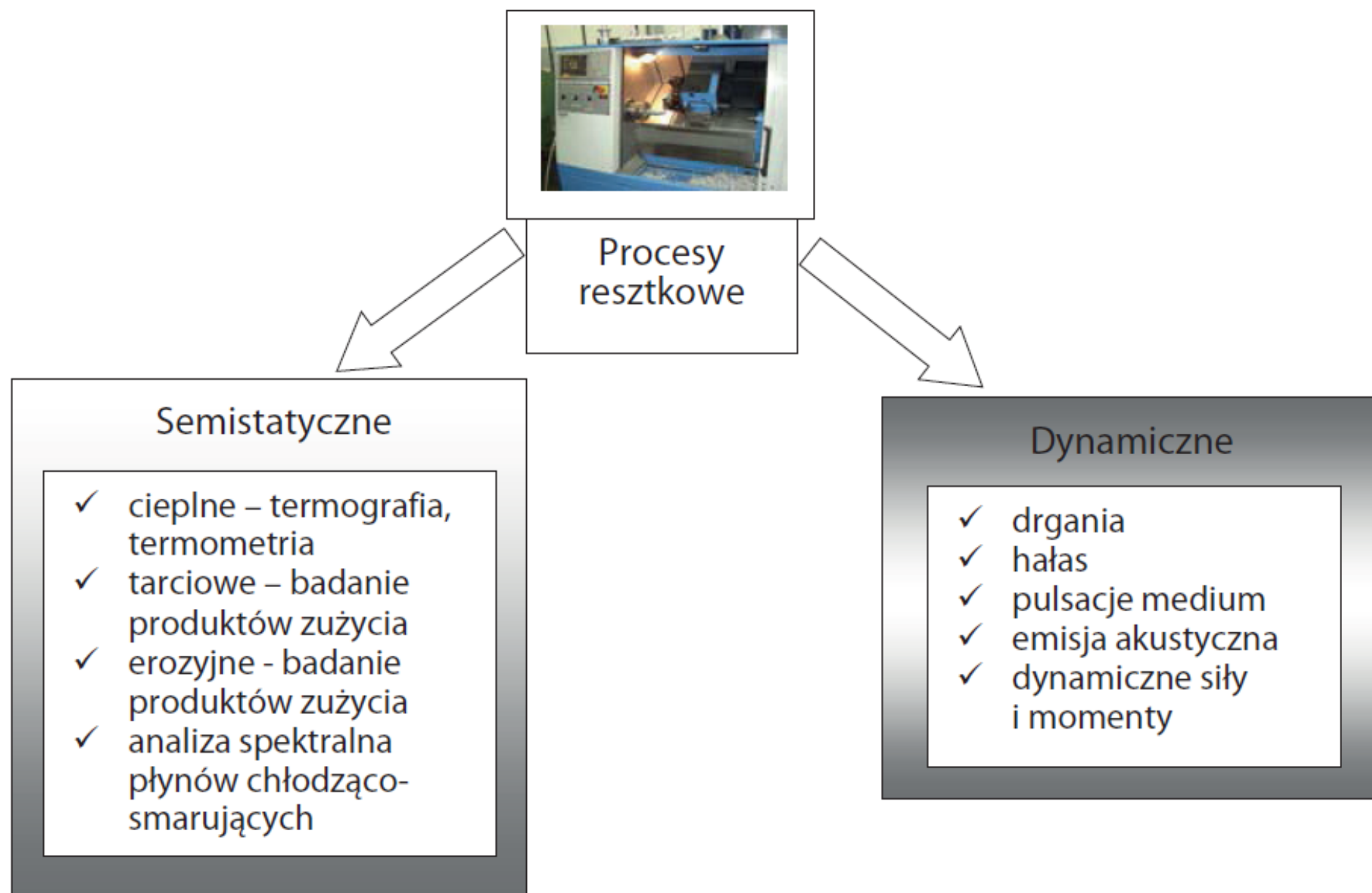
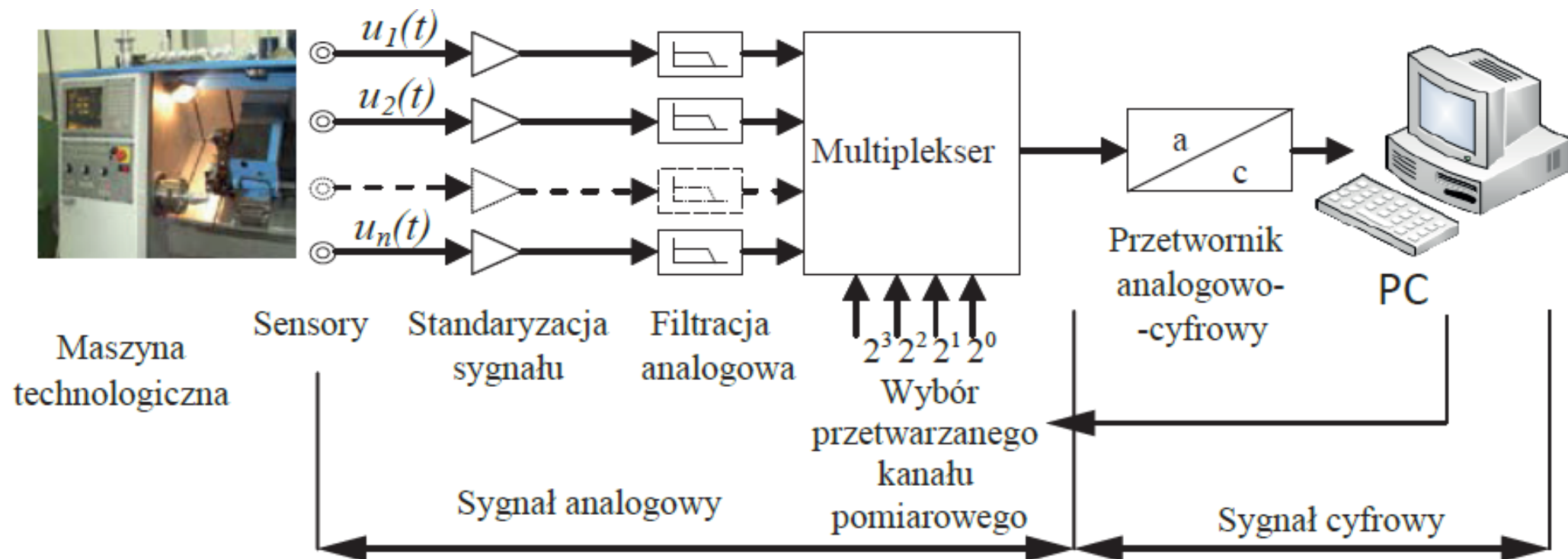


WYBRANE PRZYKŁADY UKŁADÓW DIAGNOSTYCZNYCH PROCESÓW PRZEMYSŁOWYCH

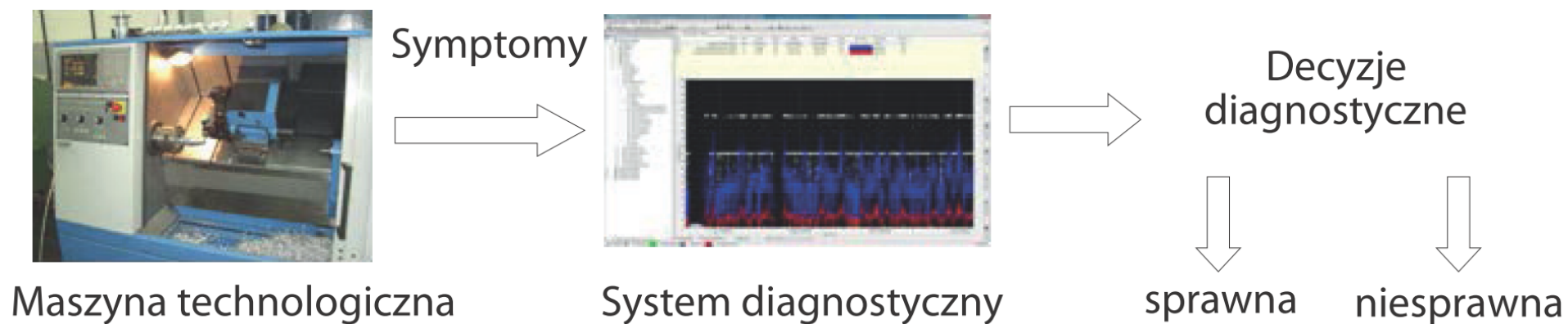


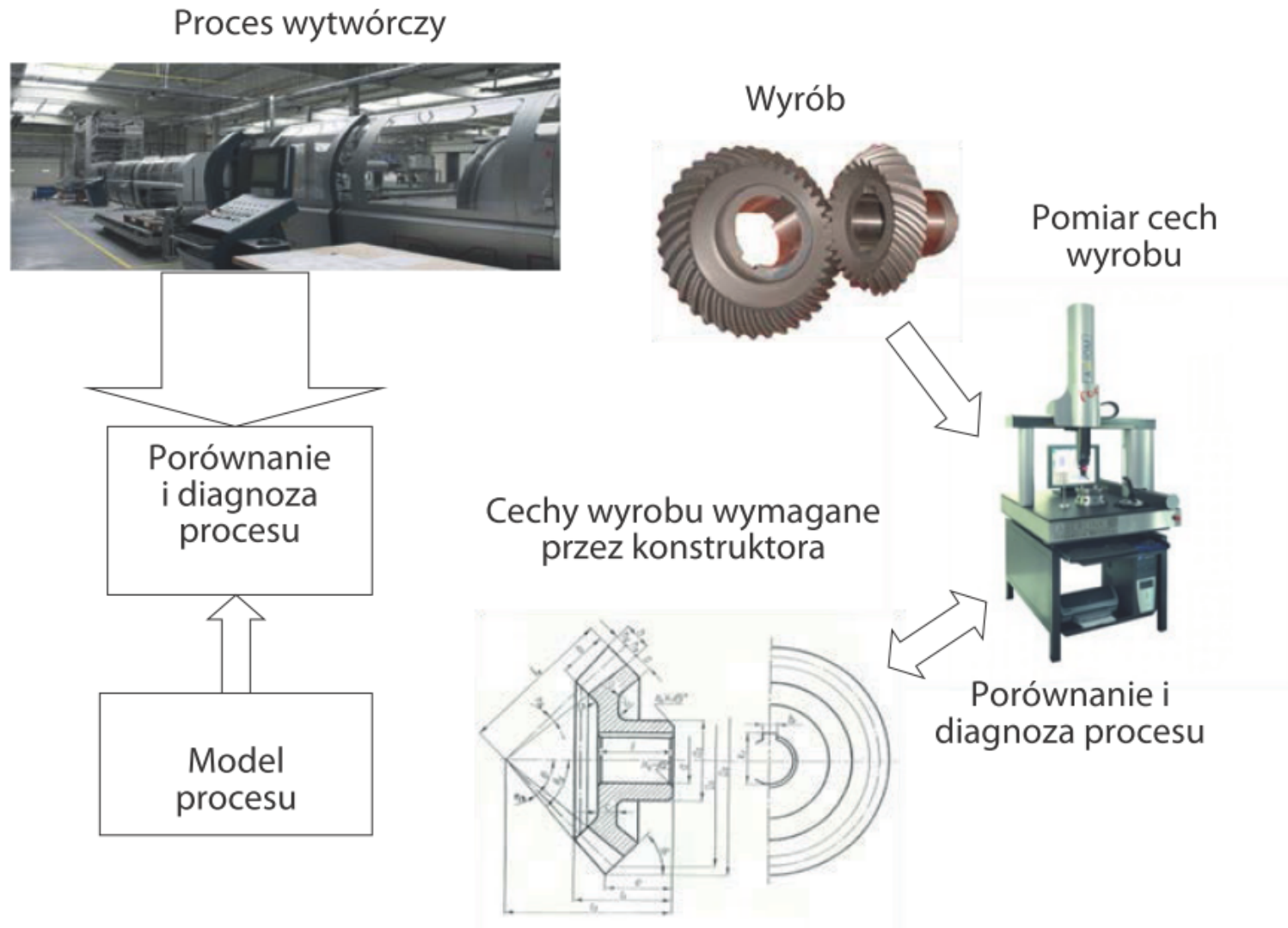




Diagnostyka maszyny technologicznej

Diagnostyka maszyny technologicznej





Diagnostyka procesu wytwórczego na podstawie jego rezultatu lub analizy zgodności zmiennych procesowych z modelowymi

Diagnozowanie obiektu z wykorzystaniem modeli analitycznych

Do budowy modelu diagnozowanego obiektu można zastosować postać normalną układu równań stanu. W ogólnym przypadku zapisaną jako n równań różniczkowych z n zmiennymi stanu x_i :

$$\dot{x}_1 = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n, t)$$

$$\dot{x}_2 = f_2(x_1, x_2, \dots, x_n, t)$$

$$\dot{x}_n = f_n(x_1, x_2, \dots, x_n, t)$$

gdzie:

$$\dot{x} = \frac{dx}{dt}$$

w postaci wektorowej :

$$\mathbf{y} = \mathbf{g}(\mathbf{x}, t)$$

Metody odwzorowania sygnałów diagnostycznych w przestrzeń zdefiniowanych stanów niesprawności obiektu

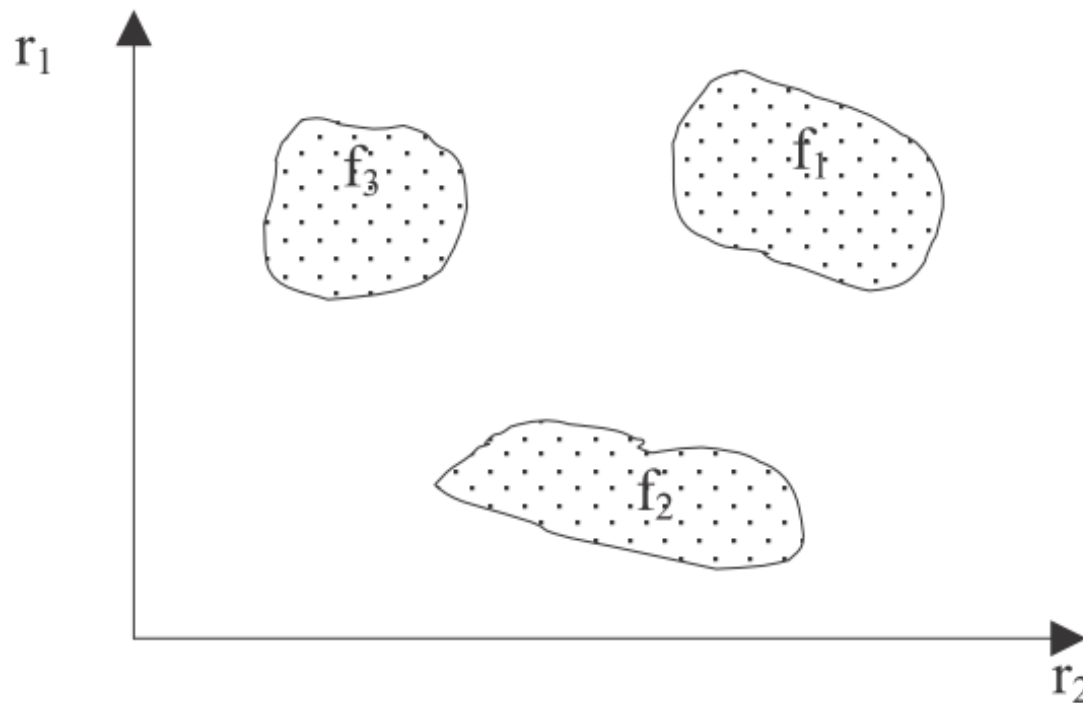
Podczas projektowania przemysłowych systemów diagnostycznych, często występują trudności w zakresie opracowania modelu diagnozowanego obiektu.

Trudności te mogą mieć bardzo różne przyczyny, wśród których można wymienić, między innymi, znaczny stopień złożoności procesów zachodzących w diagnozowanym systemie, który wyklucza budowę modelu analitycznego, brak dostępu do wiarygodnych danych wejściowych i wyjściowych uniemożliwia identyfikację obiektu jako „czarnej skrzynki”, obiekty charakteryzują się niestacjonarnością itp.

Sytuacje takie uniemożliwiają budowę struktury z modelem i wykorzystanie jej w procesie diagnostycznym.

Pojęcie obraz symptomów pokrywa się z potocznie rozumianym obrazem na płaszczyźnie tylko dla dwu zmiennych jak na rys. Jeżeli obserwowany zbiór S jest wektorem liczb rzeczywistych przy czym każdy element pochodzi z pomiaru n -tej wielkości to powstaje n -wymiarowy obraz, który może wskazywać na uszkodzenie lub określony stan obiektu.

Zbiory wartości symptomów zawarte w zamkniętych obszarach na płaszczyźnie r_1, r_2 definiują uszkodzenia f_1, f_2 , lub f_3



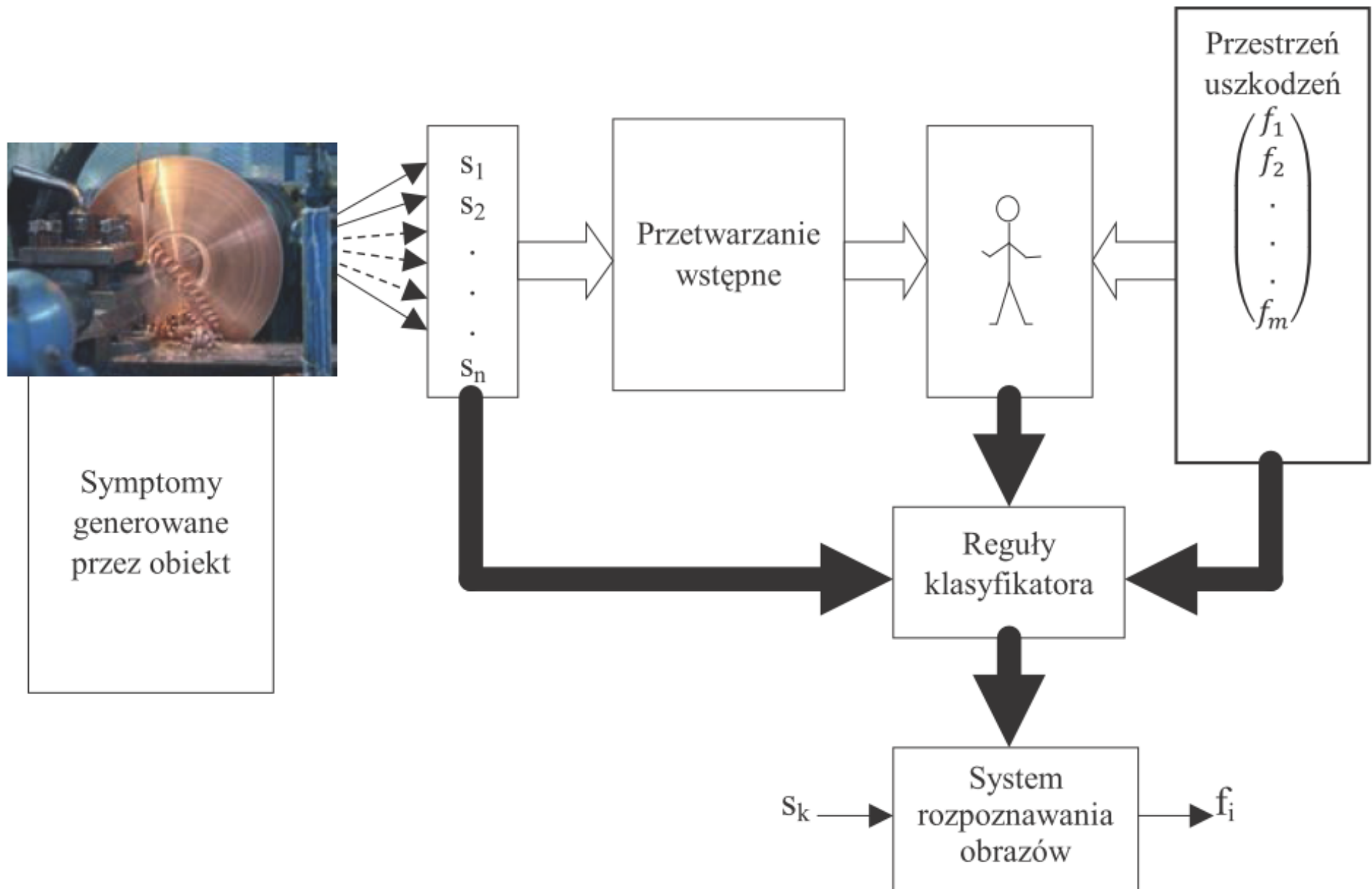
Odwzorowania tego typu w zastosowaniu do diagnostyki wymagają korzystania z opracowanych, szczególnie w ostatnich latach, metod rozpoznawania obrazów od klasycznych po wykorzystujące sieci neuronowe

Diagnostyczne systemy rozpoznawania obrazów mogą realizować dwa cele:

- przypisanie obrazu symptomów uszkodzenia lub zmiany stanu procesu do jednej z dwu możliwych klas („obiekt niesprawny” lub „obiekt sprawny”);
- przypisanie obrazu symptomów uszkodzenia lub zmiany stanu procesu do wybranej klasy z n możliwych.

W tym drugim przypadku w zbiorze klas może znajdować się również klasa „obiekt niesprawny”, lecz również są klasy reprezentujące stany pośrednie, których identyfikacja może stanowić podstawę do predykcji stanów przyszłych.

Uczenie systemu rozpoznawania obrazów do celów diagnostycznych



Faza rozpoznawania składa się z: akwizycji danych z działającego procesu, wstępnego ich przetworzenia oraz zastosowania jednej z metod identyfikacji lub klasyfikacji z wykorzystaniem wiedzy pozyskanej podczas uczenia.

Wśród dobrze opisanych w literaturze klasycznych metod rozpoznawania obrazów dominują:

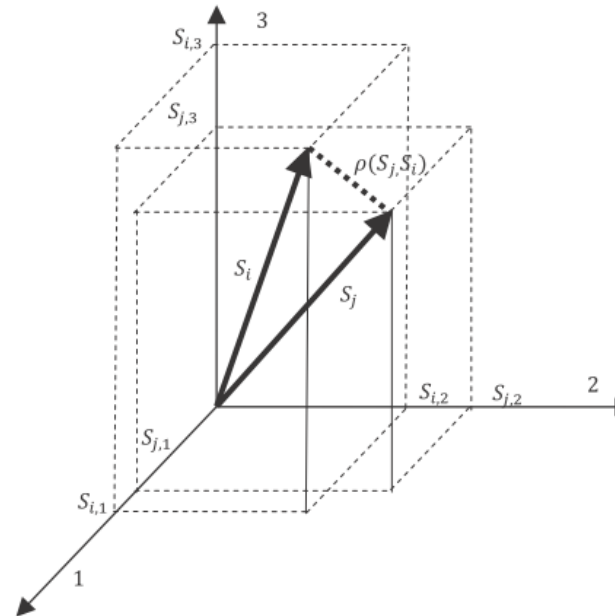
- metody odległościowe,
- metody aproksymacyjne,
- metody statystyczne.

Metody odległościowe rozpoznawania obrazów

Zadaniem systemu rozpoznawania obrazów, wykorzystującego tą metodę, jest znalezienie umownej odległości zwanej metryką dwu wektorów w przestrzeni symptomów reprezentujących dwa stany obiektu diagnozowanego.

Wektory te reprezentują kolejne zmierzone stany wytypowanych wielkości skorelowanych ze stanem procesu. Można założyć, że jeden z nich jest wektorem odwzorowującym stan normalny procesu.

Poglądowo dla trzelementowego wektora symptomów pokazano ten problem w układzie Kartezjańskim.



Wartość metryki może być miarą niepodobieństwa dwu wektorów. Większa wartość sugeruje mniejsze podobieństwo dwu obrazów reprezentowanych przez wektory. Dla wektorów N – elementowych metrykę można zapisać następująco:

$$\varrho_M(s_i, s_j) = \left[\sum_{n=1}^N |s_{i,n} - s_{j,n}|^t \right]^{\frac{1}{t}}$$

Z tej metryki zwanej metryką Minkowskiego można wygenerować kilka innych podstawiając odpowiednią wartość parametru t . Dla $t=1$ będzie to metryka Manhattan (zwana uliczną):

$$\varrho_{CB}(s_i, s_j) = \sum_{n=1}^N |s_{i,n} - s_{j,n}|$$

Oraz dla $t=2$ euklidesową:

$$\varrho_E(s_i, s_j) = \sqrt{\sum_{n=1}^N (s_{i,n} - s_{j,n})^2}$$

Duża liczba różnych metryk opisywanych w literaturze, sugeruje, że nie ma uniwersalnej metryki i jej doboru dokonuje się w oparciu o wyniki doświadczalne i uzależniony od struktury parametrów w przestrzeni obserwacji.

Wyliczając wybraną metrykę, na podstawie znajomości dwu wektorów: wzorcowego i bieżącego, otrzymuje się liczbę, która reprezentuje umowną odległość między tymi wektorami.

Odległość ta może być interpretowana jako miara niezgodności stanów wzorcowego i diagnozowanego obiektu.

Wartość graniczna odwzorowuje stan niesprawności obiektu diagnozowanego.

Często jednak, wynikiem procesu diagnostycznego ma być oprócz stwierdzenia stanu uszkodzenia, jako ostatniej fazy życia obiektu, klasyfikacja stanów pośrednich, dla których eksploatacja jego jest jeszcze możliwa.

Obserwując dynamikę zmian klasy obiektu, otrzymanych w wyniku procesu klasyfikacji, można prognozować czas eksploatacji do stanu uszkodzenia.

Zastosowanie powyższej strategii wymaga zarejestrowania obrazów wzorcowych dla wszystkich przewidywanych stanów obiektu począwszy od symptomów dla obiektu w pełni sprawnego (nowego) do uszkodzonego.

Bieżący wektor symptomów ma być zakwalifikowany do tego obrazu, który najlepiej go reprezentuje. Inaczej mówiąc do takiej klasy, do której należy najbliższy wzorzec w przestrzeni cech.

Najczęściej cytowanym narzędziem do realizacji takiego przyporządkowania jest algorytm najbliższego sąsiada (ang. Nearest Neighbour) NN.

Metody aproksymacyjne rozpoznawania obrazów

Metody aproksymacyjne polegają na poszukiwaniu funkcji przynależności obrazu symptomów s do danej klasy i czyli poszukiwaniu odwzorowania: $S \rightarrow F_i(s)$.

Funkcję $F_i(s)$ można rozwinąć w szereg względem wybranej rodziny funkcji:

$$\Phi = \{\varphi_0(s), \varphi_1(s), \varphi_2(s), \dots, \varphi_v(s)\}$$

Najczęściej wybieraną rodziną funkcji bazowych jest rodzina wielomianów, lub podprzestrzenie trygonometryczne.

Projektowanie klasyfikatora aproksymacyjnego polega na doborze rodziny funkcji bazowych oraz wyznaczeniu wag w oparciu o informację zawartą w zbiorze uczącym.

Metody statystyczne klasyfikacji obrazów

Zjawiska, które są źródłem mierzonych symptomów podczas akwizycji danych o obiekcie, mogą być opisywane statystycznie, można więc założyć, że obrazy symptomów charakteryzujące się zbliżonymi rozkładami mogą być przypisane do tych samych obrazów wzorcowych.

Kryteria niepodobieństwa lub podobieństwa obrazów opierają się na metodach statystycznych.

Doświadczony pracownik, nadzorujący proces technologiczny, jest w stanie zidentyfikować nieprawidłowe stany. Źródłem tej wiedzy jest ciągły proces rejestracji symptomów jakie może zaobserwować swoimi zmysłami: słuchem, wzrokiem i dotykiem.

Symptomy te porównuje z ich stanem historycznym tzn. z zapamiętanymi dla akceptowalnej jakości wyrobu, poprawnie pracującej maszyny lub nowego narzędzia w przeszłości. Ten sposób obserwacji procesu prowadzi do subiektywnych decyzji diagnostycznych, które w pierwszej fazie uruchomienia produkcji nie zawsze muszą być prawidłowe, jednakże po dłuższym okresie uczenia, także na błędach, pozwalają na prawidłową ocenę stanu stanowiska pracy.

Dążenie do automatyzacji większości faz technologicznych powstawania wyrobów powoduje konieczność wycofywania ludzi ze strefy bezpośredniej produkcji.

Dzieje się tak dlatego, że wzrastająca wydajność maszyn technologicznych często wyklucza skuteczność ingerencji człowieka bezpośrednio w proces.

Możliwości percepcyjne oraz czas reakcji, mimo zdolności uczenia się i rozpoznawania stanu maszyny, nie pozwalają na skuteczne przeciwdziałanie powstawaniu stanów awaryjnych.

Człowieka musi zastąpić system komputerowy, który w podobny sposób jak człowiek będzie w stanie kontrolować stan procesu, maszyny i narzędzia, lecz jego reakcje będą znaczne szybsze, wyprzedzające stany awaryjne.

Zadaniem konstruktora systemu diagnostycznego jest zaprojektowanie sposobu określenia składowych wektora stanu obiektu diagnozowanego. Następnie dla każdej składowej należy zdefiniować przestrzeń możliwych uszkodzeń i prawdopodobieństwo ich wystąpienia.

W wyniku takich analiz można określić jakie działania diagnostyczne są uzasadnione ekonomicznie i jaki ma wymiar wektor stanu.

Oprócz ochrony przed zdarzeniami katastroficznymi, technolog stawia przed konstruktorem systemu diagnostycznego bardziej ambitne zadanie. Diagnozując narzędzie w czasie rzeczywistym, chce wiedzieć jaki jest stan zużycia technologicznego i wymiarowego narzędzia i ile czasu (lub cykli roboczych) pozostało do jego wymiany lub ostrzenia.

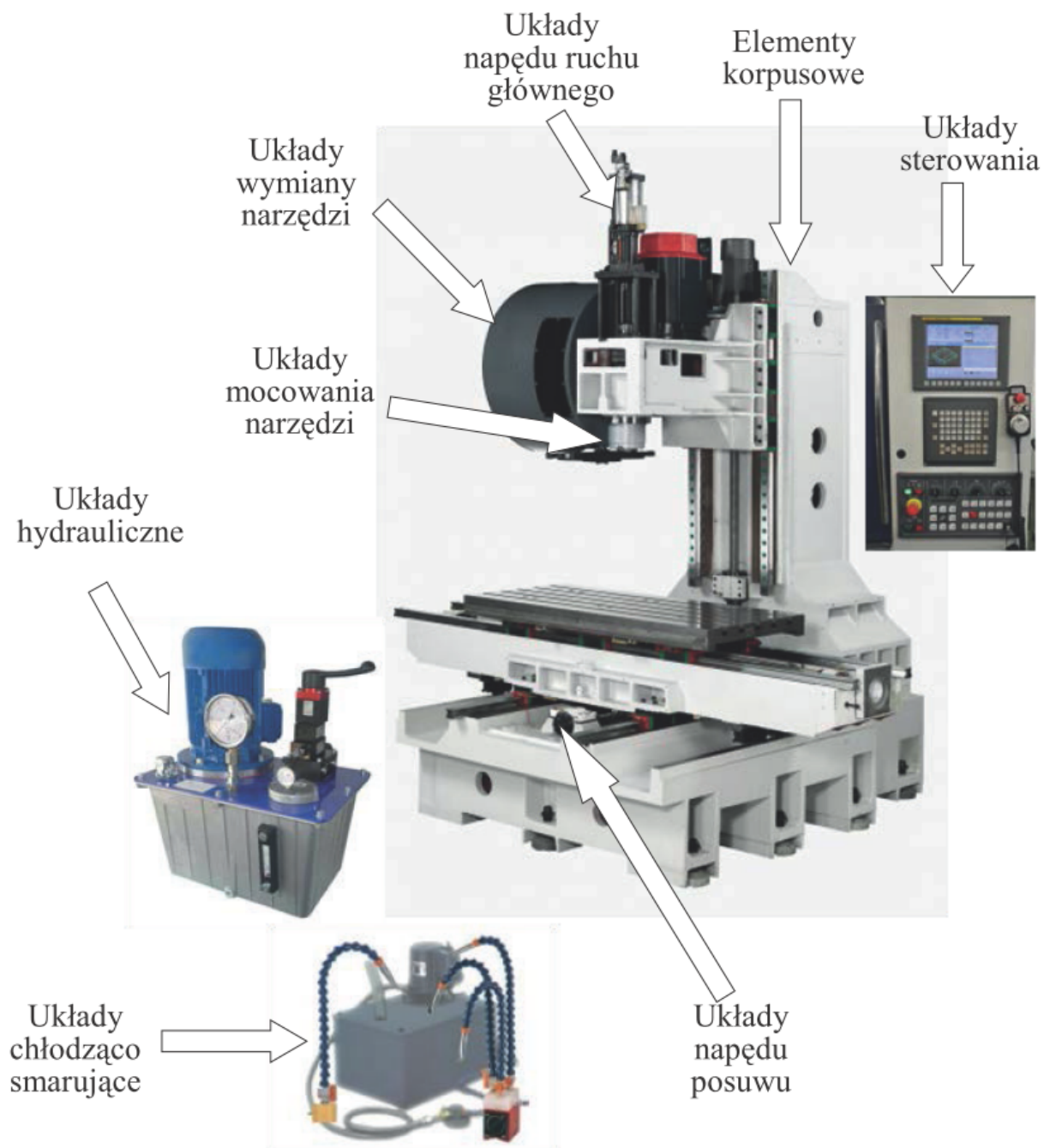
Oszacowanie tych parametrów na drodze zbierania danych pomiarowych z wielu cykli i ich obróbka statystyczna, może dostarczyć pewnych informacji, jednak ma sens dla konkretnego cyklu obróbczego, w którym narzędzie pracuje ze stałymi parametrami.

W systemach elastycznych to samo narzędzie może wykonywać w czasie swojego życia różne operacje na różnych przedmiotach i z różnymi parametrami.

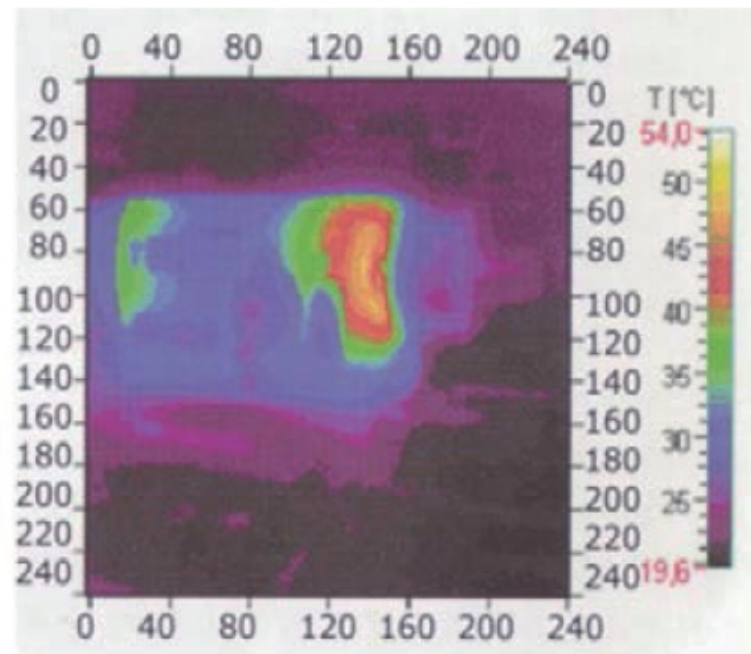
W bezobsługowym centrum obróbkowym jest potencjalnie możliwa sytuacja, że w poprzednim cyklu pracy narzędzie ulegnie uszkodzeniu w końcowej fazie pracy i nie zostanie to zarejestrowane przez system diagnostyczny.

Dotyczy to szczególnie wiertel o małych średnicach, gwintowników, wytaczadeł i innych narzędzi wrażliwych na działanie sił i momentów skręcających.

Uszkodzone narzędzie może być zweryfikowane w magazynie przed ponownym użyciem i wymienione na rezerwowe. Jednocześnie powinien ten fakt spowodować blokadę wykonywania następnych operacji na powierzchniach, na których wystąpiło awaryjne zużycie narzędzia. Mogłoby to wywołać następne awarie, jeśli część uszkodzonego narzędzia pozostała w przedmiocie obrabianym.



Typowe zespoły obrabiarek będące przedmiotem diagnozowania



Pomiar rozkładu temperatur na powierzchni wrzeciennika obrabiarki zarejestrowany przy pomocy kamery termowizyjnej

Do podjęcia decyzji o niesprawności należy porównać historyczny zapis rozkładu temperatur wykonany w tych samych warunkach obciążeń.

Oprogramowanie kamer termowizyjnych umożliwia wiele działań wspomagających wykorzystanie zarejestrowanych obrazów, między innymi:

- definiowanie dowolnych obszarów wewnątrz obrazu termograficznego (punkt, odcinek, prostokąt, elipsa, obszar ograniczony łamaną).
- wyszukiwanie temperatur minimalnych i maksymalnych wewnątrz dowolnego obszaru,
- wyznaczanie wartości średnich temperatur wewnątrz dowolnego obszaru,
- wyświetlanie przebiegu temperatury wzdłuż dowolnej linii zaznaczonej na obrazie,
- wyświetlanie histogramów rozkładu temperatury,
- wyświetlanie linii trendu dla temperatur minimalnych, maksymalnych i średnich,
- użycie zestawu filtrów używanych do wyznaczania temperatury i wyświetlania mapy rozkładu temperatur,
- możliwość wyświetlania szybkiego podglądu wszystkich zarejestrowanych w pliku danych pomiarowych,
- wyświetlanie danych pomiarowych w formie tabeli,
- eksport danych pomiarowych do pliku graficznego lub tekstowego.

Do okresowego diagnozowania stanów obrabiarki mogą mieć zastosowanie także metody wibroakustyczne. Poszczególne zespoły obrabiarki transmitując energię mechaniczną od silników elektrycznych do strefy skrawania generują szereg wymuszeń licznych układów masowo-sprężystych, model tego zjawiska został opisany w rozdziale 5.1. Analiza widmowa tych sygnałów, a zwłaszcza analiza porównawcza z użyciem operacji filtrowania pozwala na wczesne wykrycie uszkodzeń w węzłach kinematycznych obrabiarek (ułożyskowania wrzecion, przekładnie itp.).

Pasma częstotliwości charakterystycznych, w których można poszukiwać symptomów określonych defektów łożyska można wyznaczyć z wzorów:

- uszkodzenie bieżni pierścienia zewnętrznego

$$f = 0,5kf_r \left(1 + \frac{d}{D} \cos^2 \right)$$

uszkodzenie bieżni pierścienia wewnętrznego:

$$f = 0,5kf_r \left(1 + \frac{d}{D} \cos \beta \right)$$

uszkodzenie elementów tocznych:

$$f = 0,5kf_r \left(1 + \frac{d^2}{D^2} \cos^2 \beta \right)$$

uszkodzenie koszyka:

$$f = 0,5kf_r \left(1 - \frac{d}{D} \cos \beta \right)$$

Gdzie :

k – liczba elementów tocznych;

f_r – liczba obr./s między pierścieniem zewnętrznym a wewnętrznym;

d – średnica element tocznego;

D – średnica podziałowa;

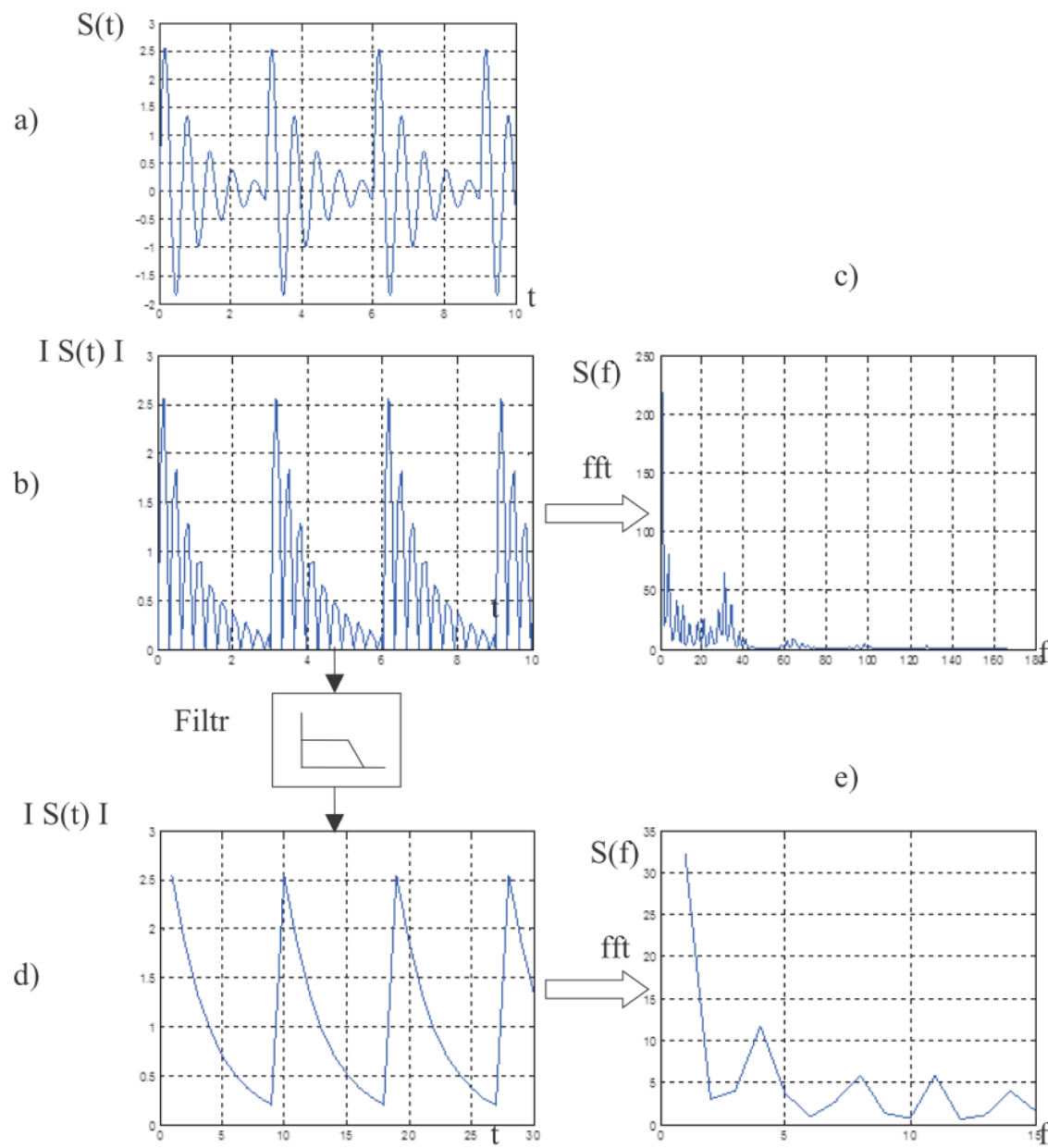
β – kąt działania.

Parametry urządzeń do diagnostyki wibroakustycznej łożysk

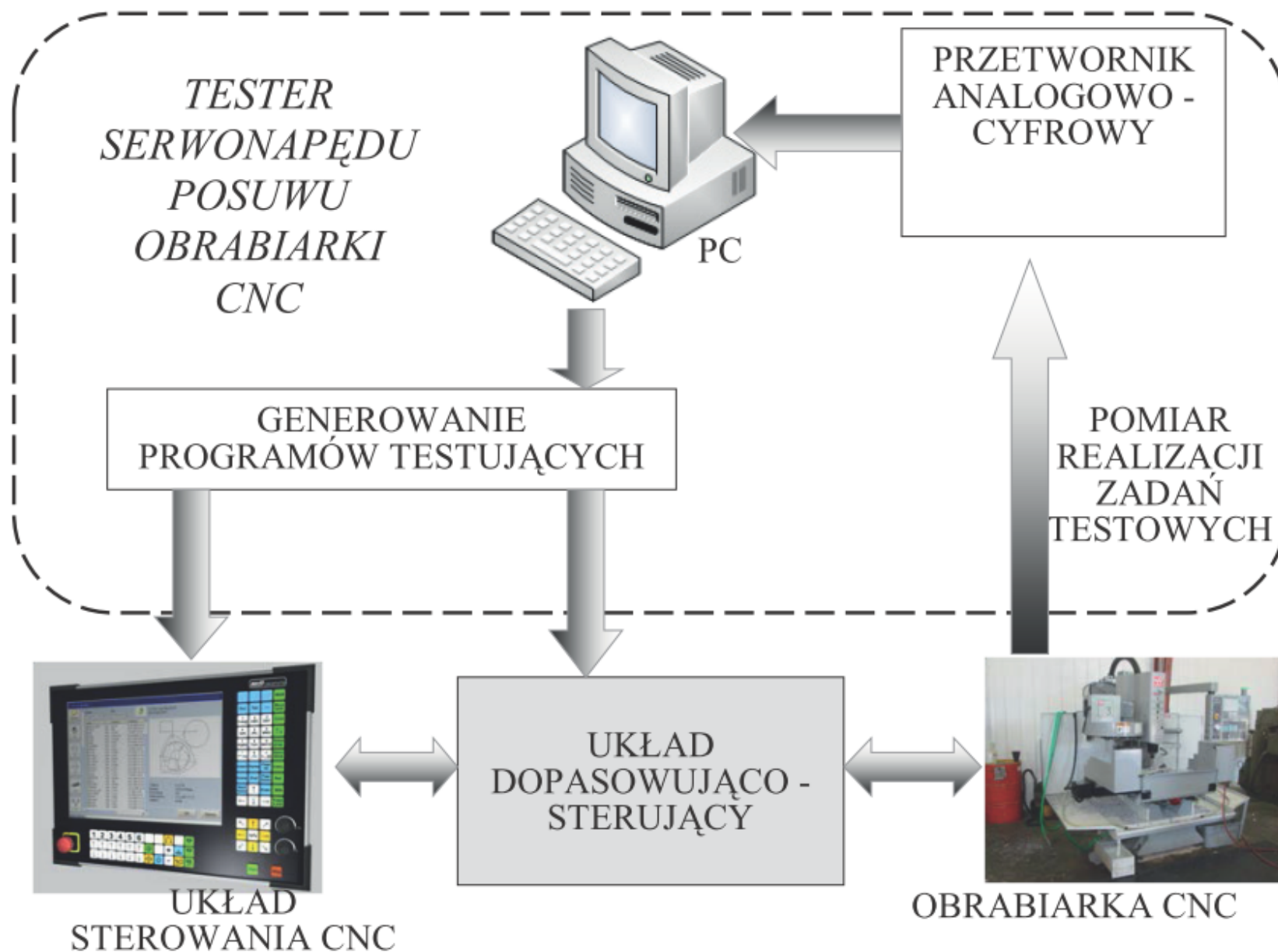
Typ urządzenia	Prędkość obrotowa łożyska <i>obr/min</i>	Zakresy pomiarowe <i>Hz</i>	Obciążenia <i>N</i>	Mierzony parametr drgań	Wielkość mierzonych łożysk <i>mm</i>
Bendi USA	1800	50÷300 300÷1800 1800÷10000		Prędkość	$d > 3$ $8 < D < 150$
NSK Japonia	1800	jw.	140÷60	Prędkość	$d > 4$
MEB-17A MVH- -90B SKF Szwecja	1800	jw.	0÷250	Prędkość	$D < 170$
SM-4, MGG-10 MGG-11 FAG Niemcy	1650	40÷300 300÷1800 1800÷10000		Prędkość	$D < 90$
GPA, GPH Steyr Waltzlager Austria		30÷300 300÷1800 1800÷10000		Prędkość	$3 < d < 100$
GPW-6 Viennatone Austria	1800	70÷360 360÷1900 1900÷10000		Prędkość Przyspieszenie	

Biorąc pod uwagę, że w paśmie generowanych drgań są obserwowalne inne zjawiska i szumy identyfikacja oparta na analizie widmowej jest utrudniona. Jednakże indywidualną cechą obserwowanego sygnału destrukcji łożyska jest jego okresowość.

Jeżeli poddać go filtracji filtrem dolnoprzepustowym to otrzyma się sygnał obwiedni, którego amplituda i częstotliwość identyfikuje zjawisko zużycia łożyska.



Wyznaczanie obwiedni sygnału wibroakustycznego i jej widma w celach diagnostycznych



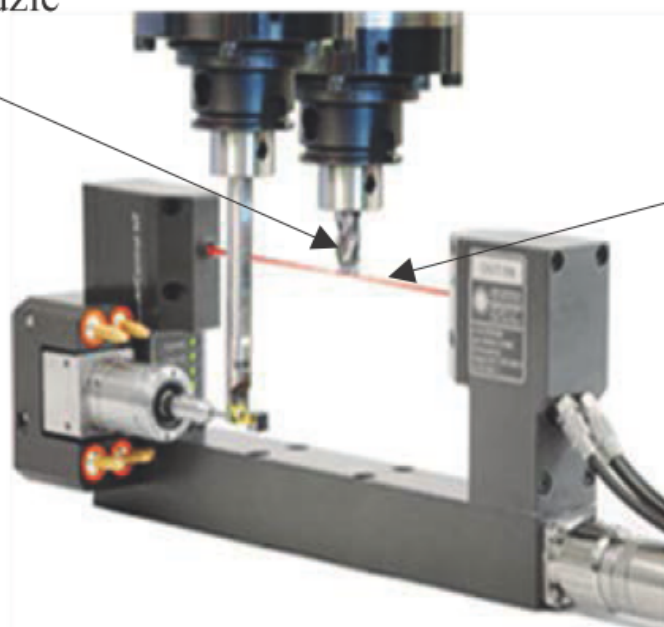
System diagnostyczny do testowania serwonapędów w obrabiarkach CNC

Przedstawiony system po podłączeniu do układu sterowania obrabiarki i układu dopasowująco-sterującego przejmuje kontrolę nad ruchami zespołów obrabiarki napędzanymi serwowmotorem. Wysyłając zadania kontrolne śledzi ich wykonanie na obrabiarce. Identyfikacja własności dynamicznych serwonapędu umożliwia dostrojenie parametrów regulatora lub identyfikację wadliwych komponentów układu.

Zużycie narzędzia z punktu widzenia systemów diagnozujących można podzielić na:

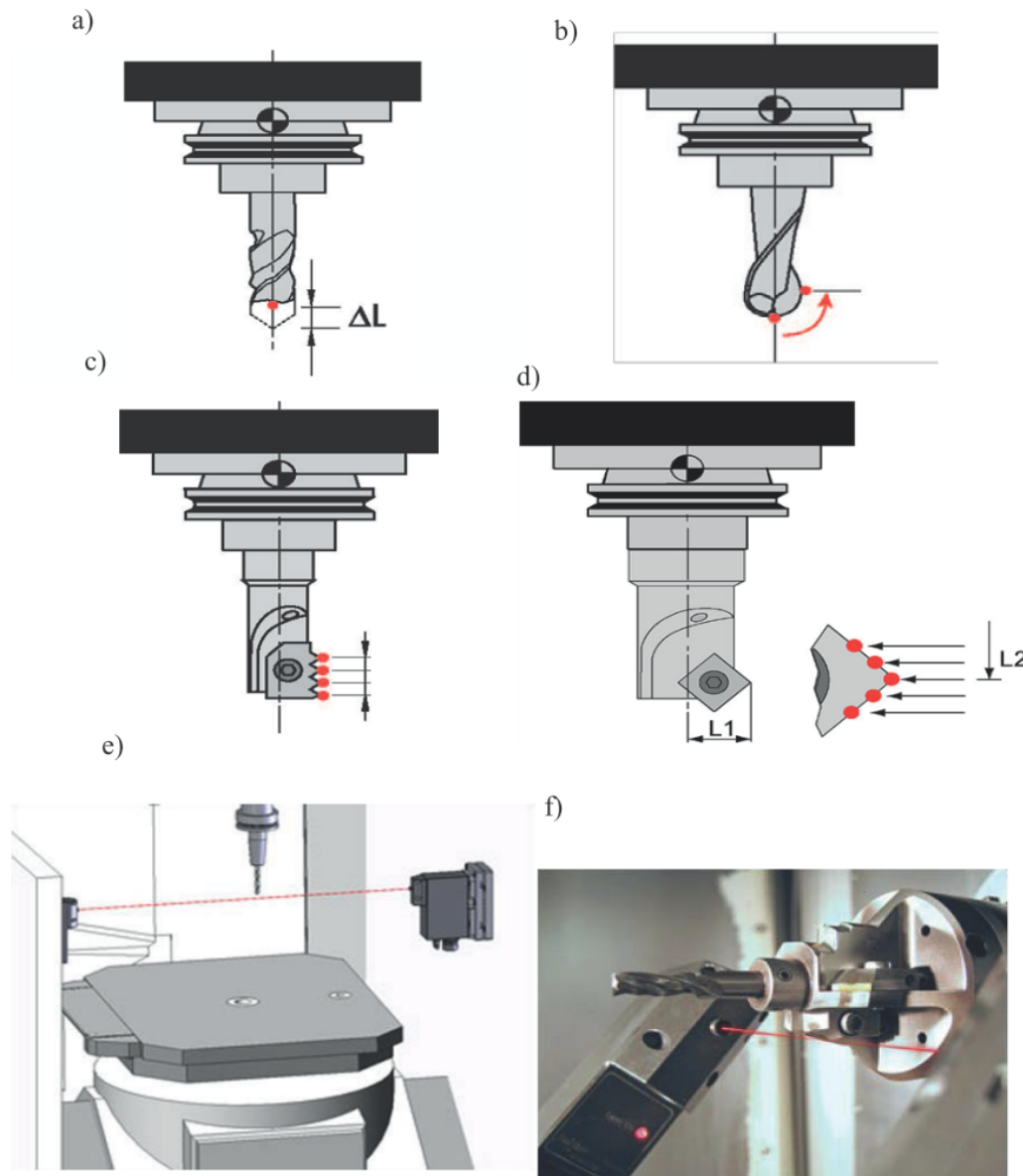
- katastroficzne stępienie ostrza (KSO), mające charakter nagły i niosące ze sobą zagrożenie uszkodzenia przedmiotu obrabianego oraz elementów obrabiarki. Wymaga natychmiastowego przerwania obróbki;
- zużycie eksploatacyjne, charakteryzujące się zmianami geometrii ostrza. Zmiany te podczas normalnej eksploatacji narastają do chwili, gdy następuje tak duże osłabienie krawędzi ostrza, że ulega ona wykruszeniu. Towarzyszą temu znaczne zmiany warunków skrawania.

Diagnozowane narzędzie



Promień lasera

Mikrowykruszenia krawędzi większe od $5\mu\text{m}$ są identyfikowane w kilka sekund. Pozwala to na podejmowanie decyzji o wymianie narzędzia w pobliżu rzeczywistego czasu żywotności.



Możliwości diagnostyczne laserowego systemu diagnostycznego: a) wykrycie awaryjnego skrócenia narzędzia,

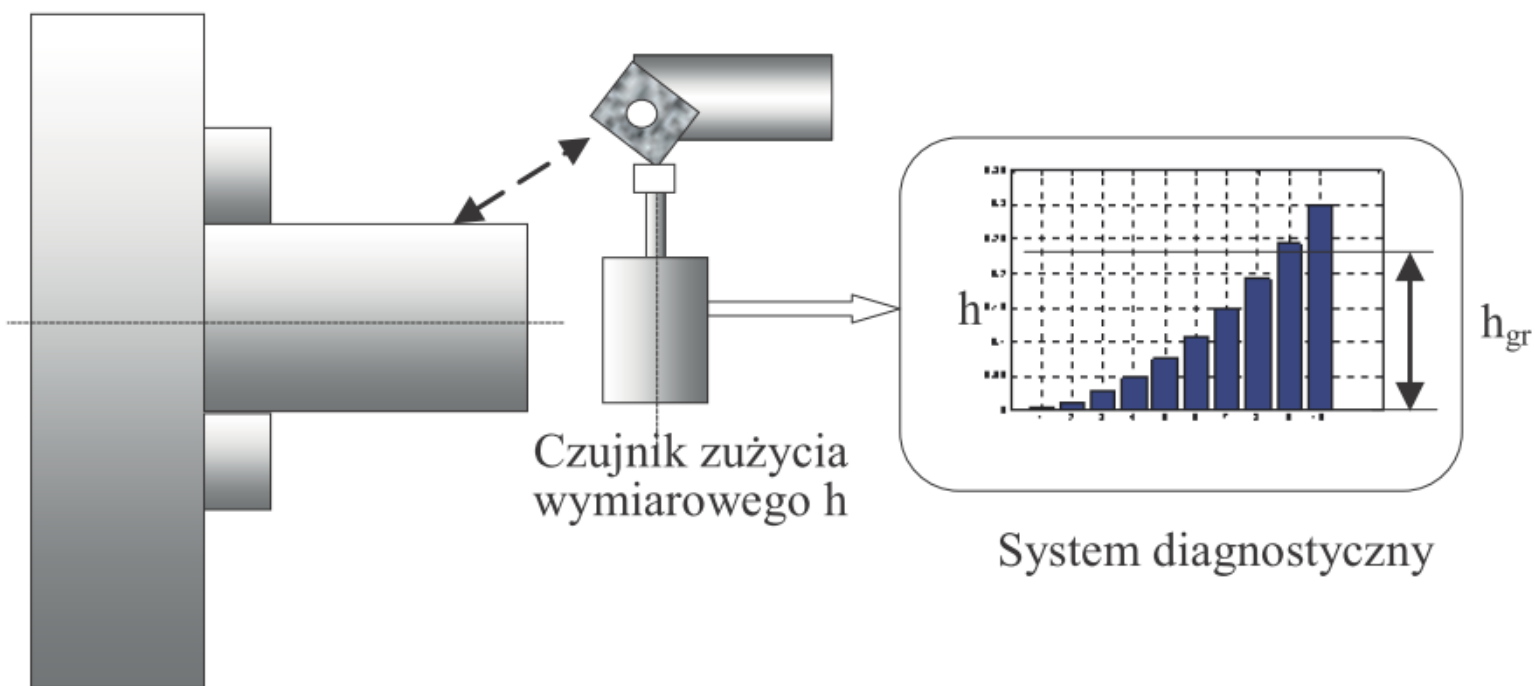
b) pomiar stanu krawędzi skrawającej wiertła,

c) weryfikacja narzędzia do obróbki gwintów,

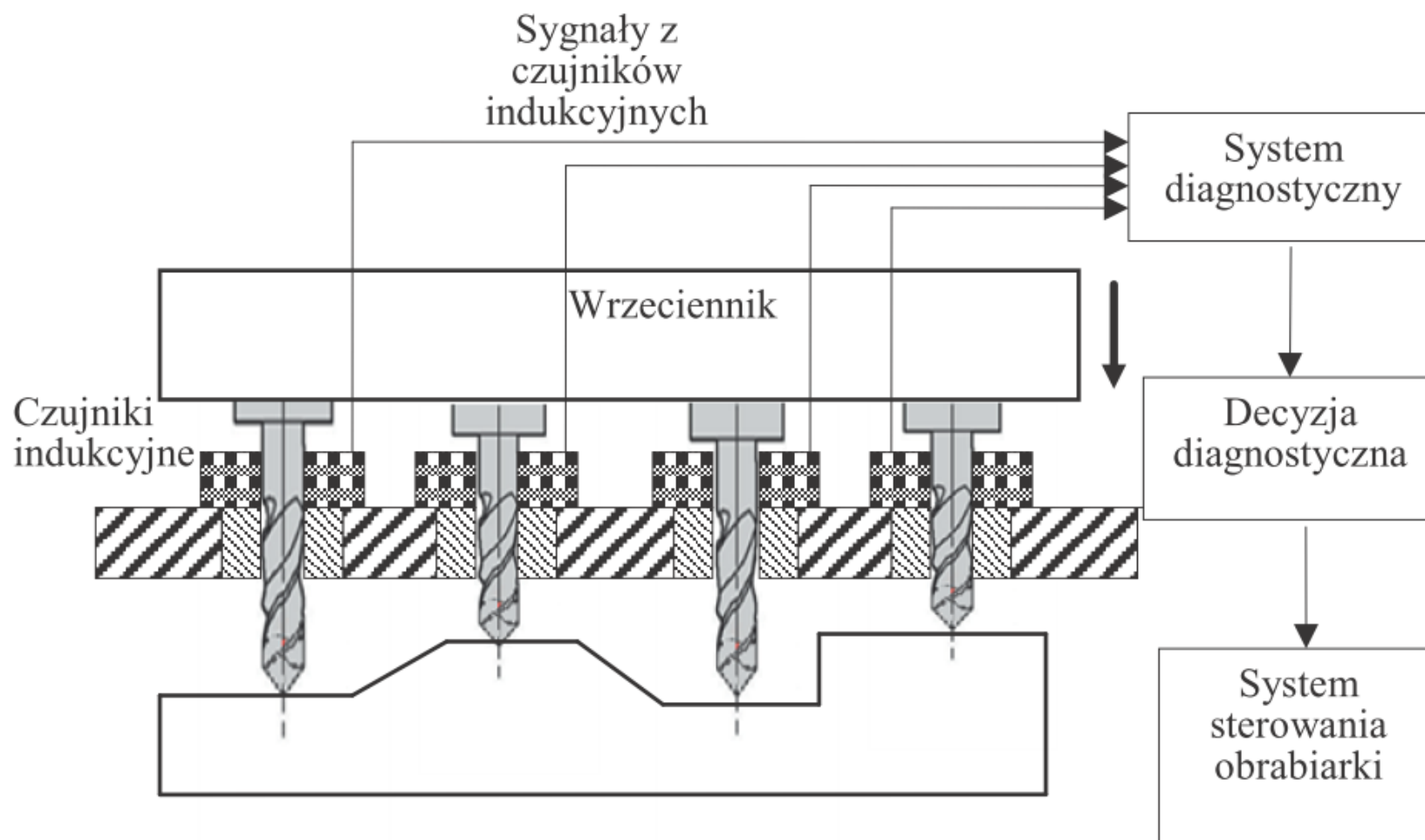
d) weryfikacja zużycia ostrza wytaczadła,

e) usytuowanie laserowego systemu pomiarowego na obrabiarce,

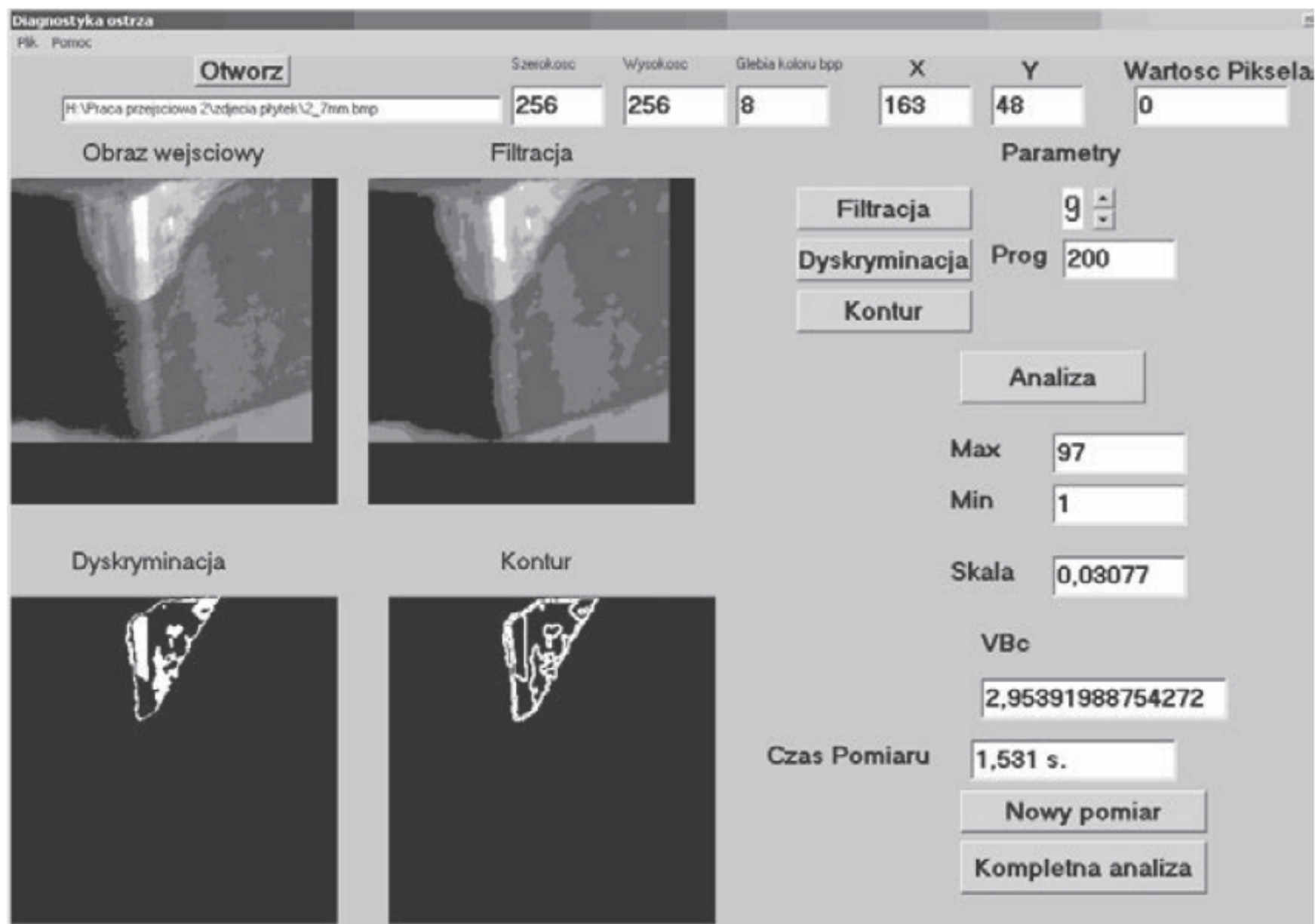
f) Precyzyjna weryfikacja wymiarowego zużycia ostrza narzędzia zespolonego.



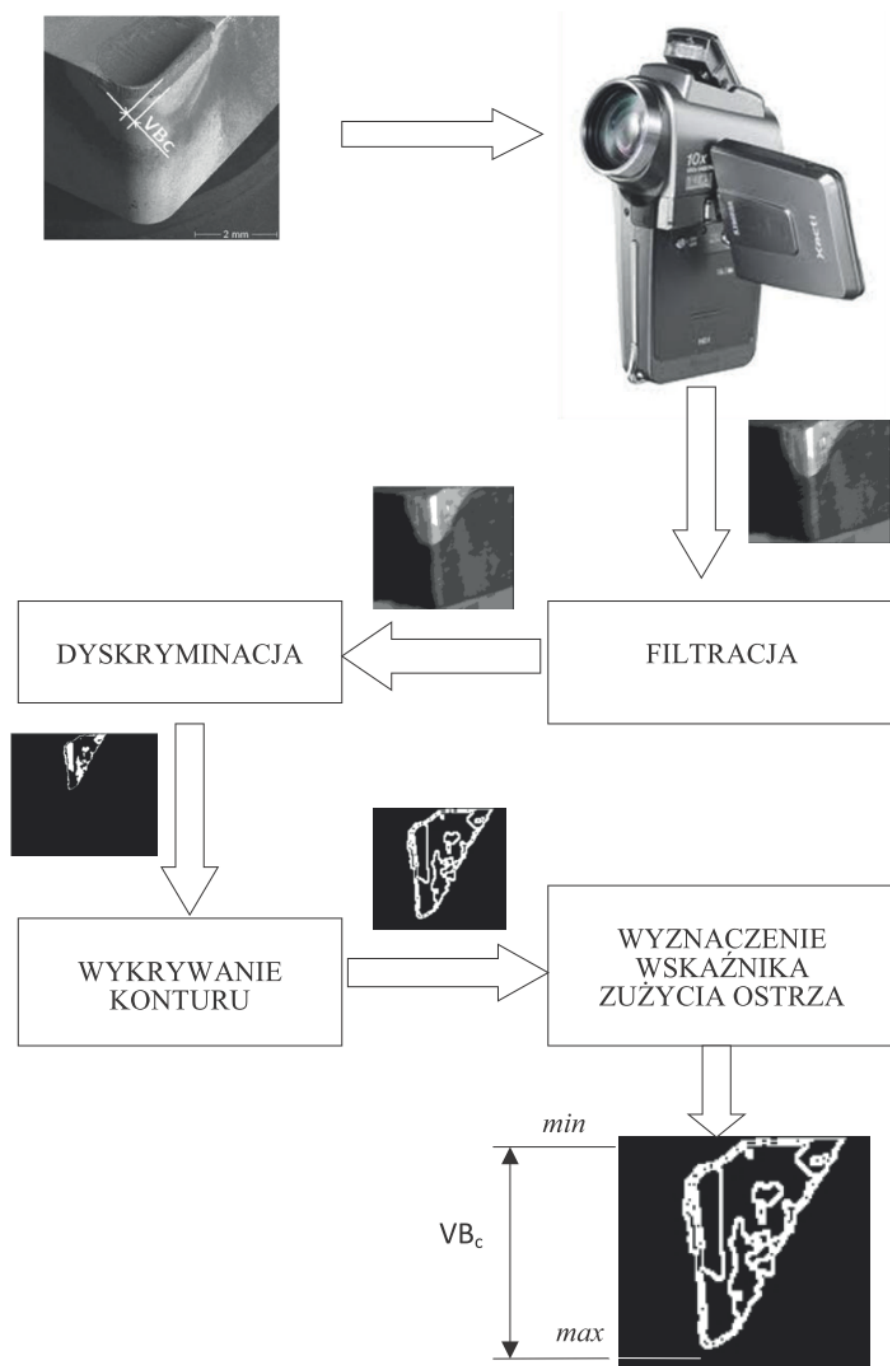
Pomiar zużycia wymiarowego narzędzia po kolejnych zabiegach obróbkowych



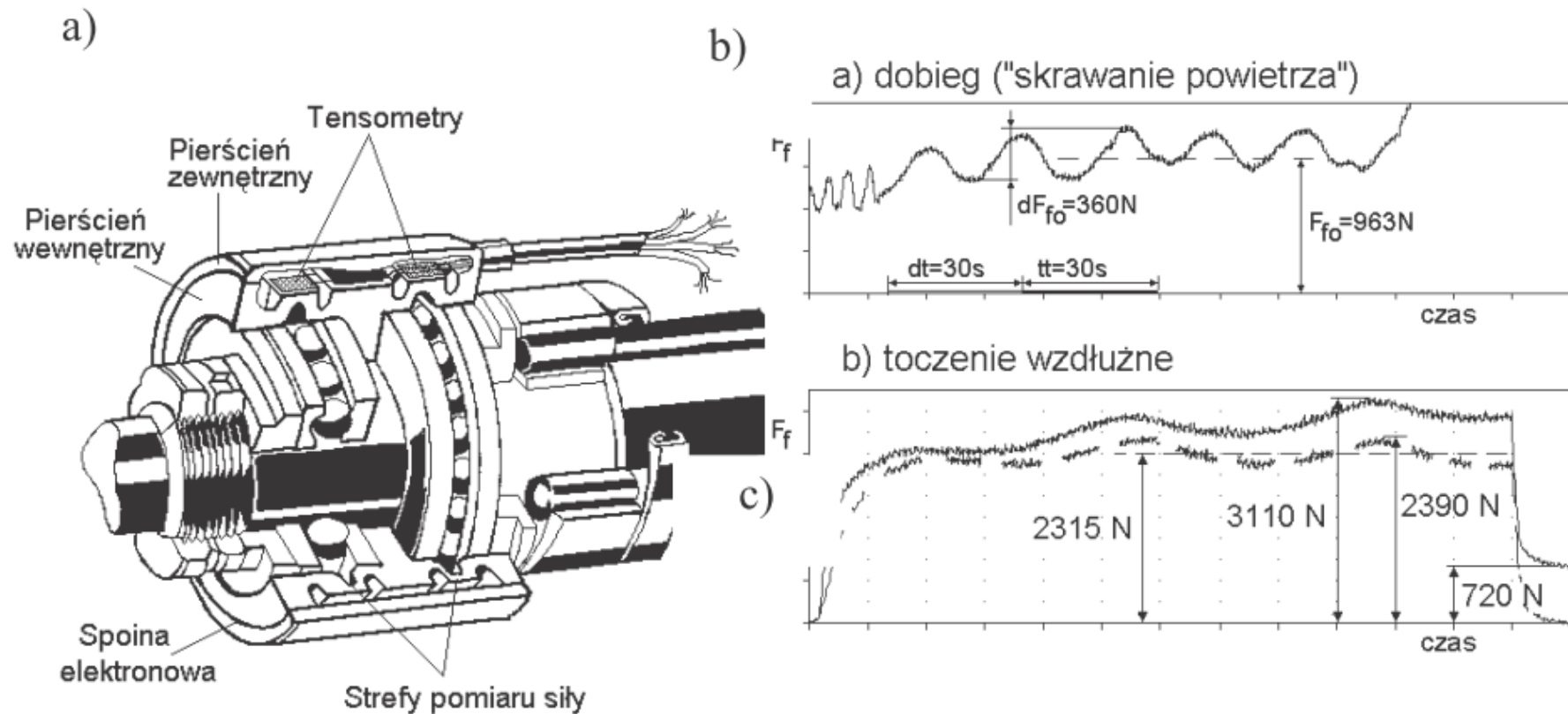
Diagnozowanie stanu wielu narzędzi obrotowych za pomocą czujników indukcyjnych



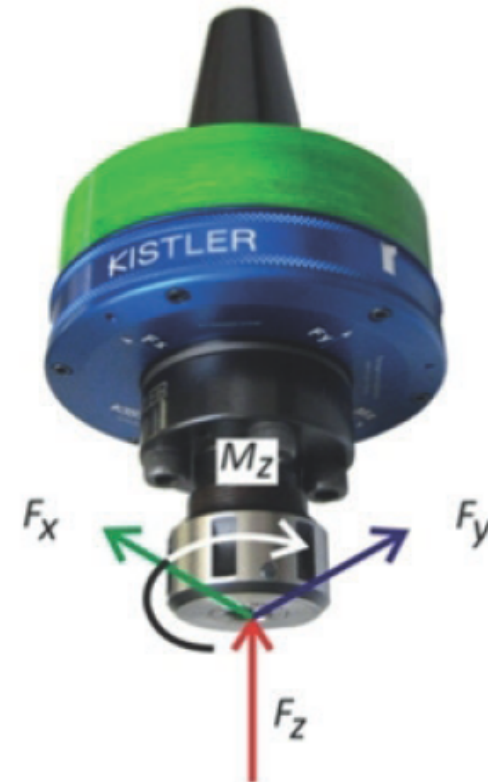
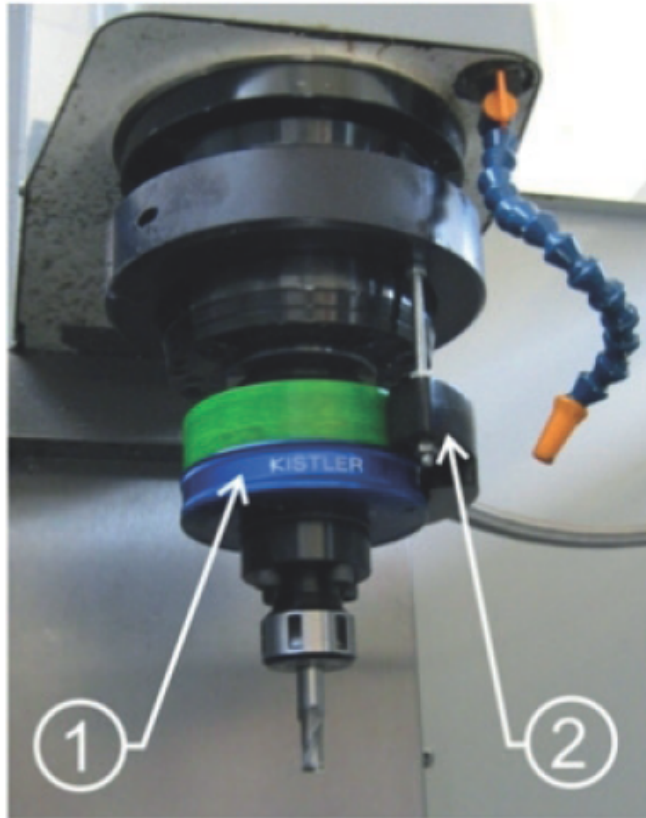
Interfejs systemu diagnostycznego zużycia ostrza skrawającego na podstawie zarejestrowanego cyfrowego obrazu powierzchni przyłożenia



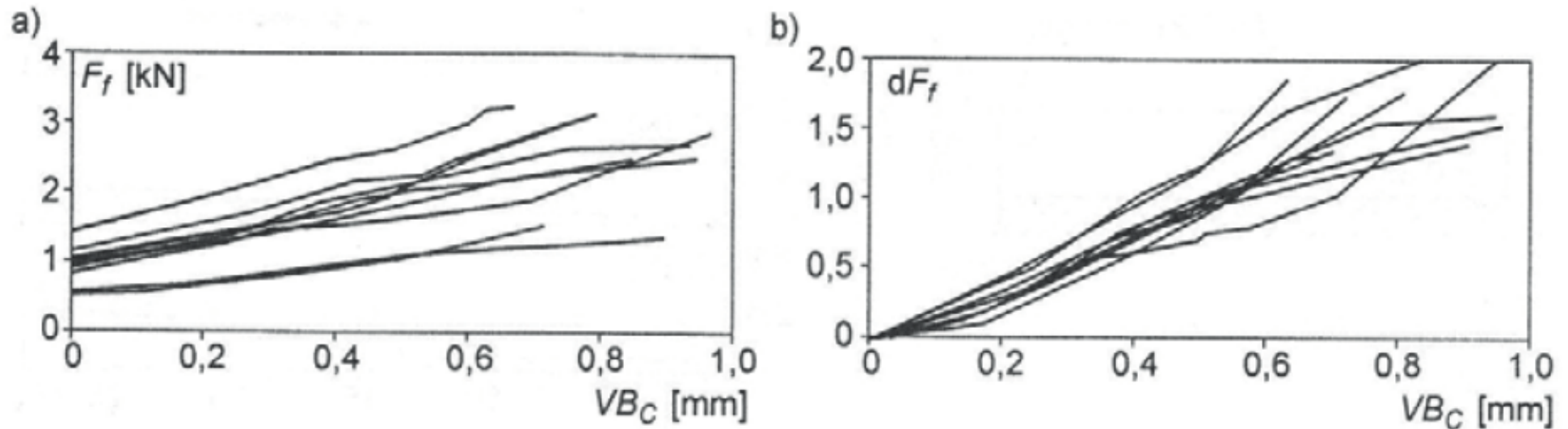
Proces wyznaczania wskaźnika zużycia ostrza VB_c z cyfrowego obrazu powierzchni przyłożenia



Przykład rozwiązania pomiaru składowej posuwowej siły skrawania zaproponowany przez SANDVIK COROMANT, a) zespół pomiarowy, b) sygnał siły podczas dobiegu bez skrawania, c) sygnał w trakcie toczenia wzdłużnego



Czteroskładowy siłomierz piezoelektryczny do pomiaru sił skrawania dla narzędzi obrotowych 50 , 1) część obrotowa, mocowana w gnieździe wrzeciona obrabiarki, 2) część stała, mocowana do obudowy wrzeciona.



Badanie stopnia skorelowania składowej posuwowej ze stopniem zużycia narzędzia.

a) Zależność składowej posuwowej siły skrawania F_f od stopnia zużycia narzędzia mierzonego wskaźnikiem VB_C , b) Zależność miary względnej składowej siły skrawania F_f od stopnia zużycia narzędzia mierzonego wskaźnikiem VB_C

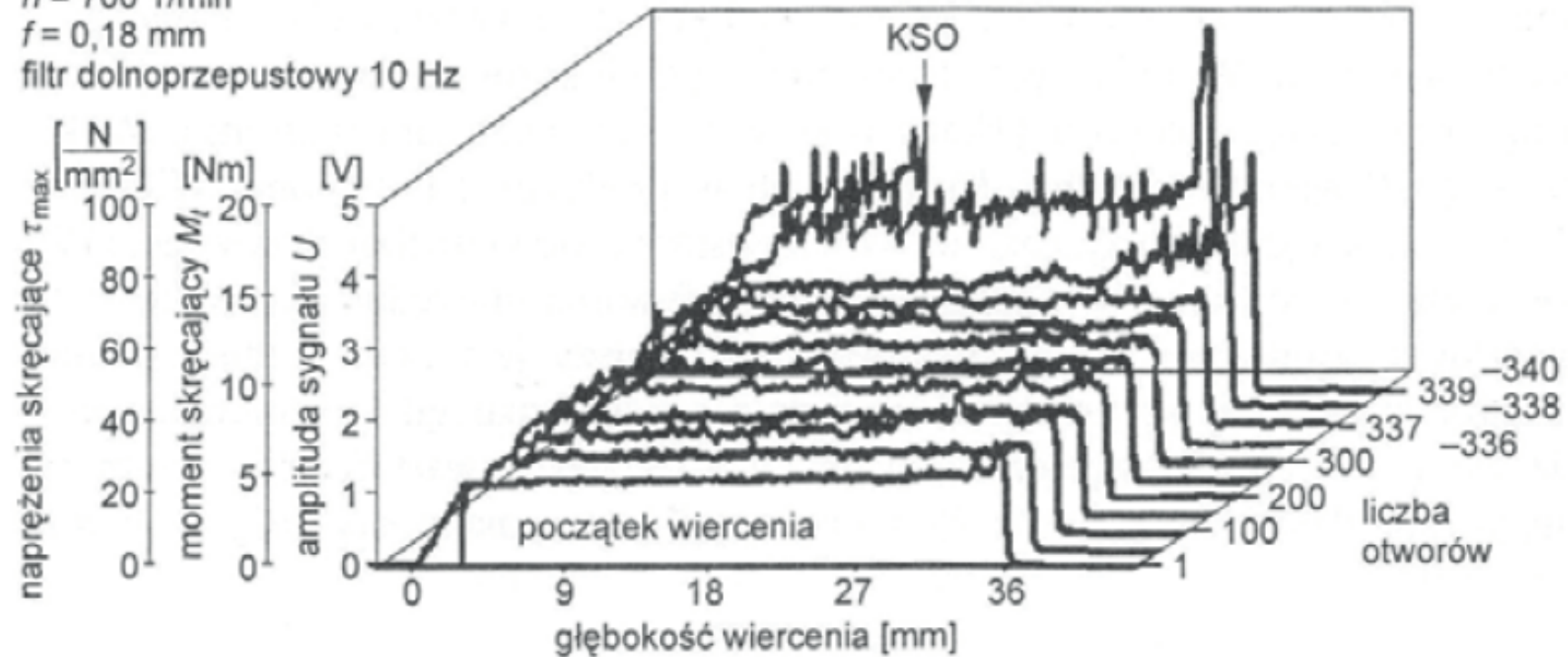
narzędzie: wiertło kręte $\phi 10$ mm DIN338

material obrabiany: 42CrMoS4V

$n = 700$ 1/min

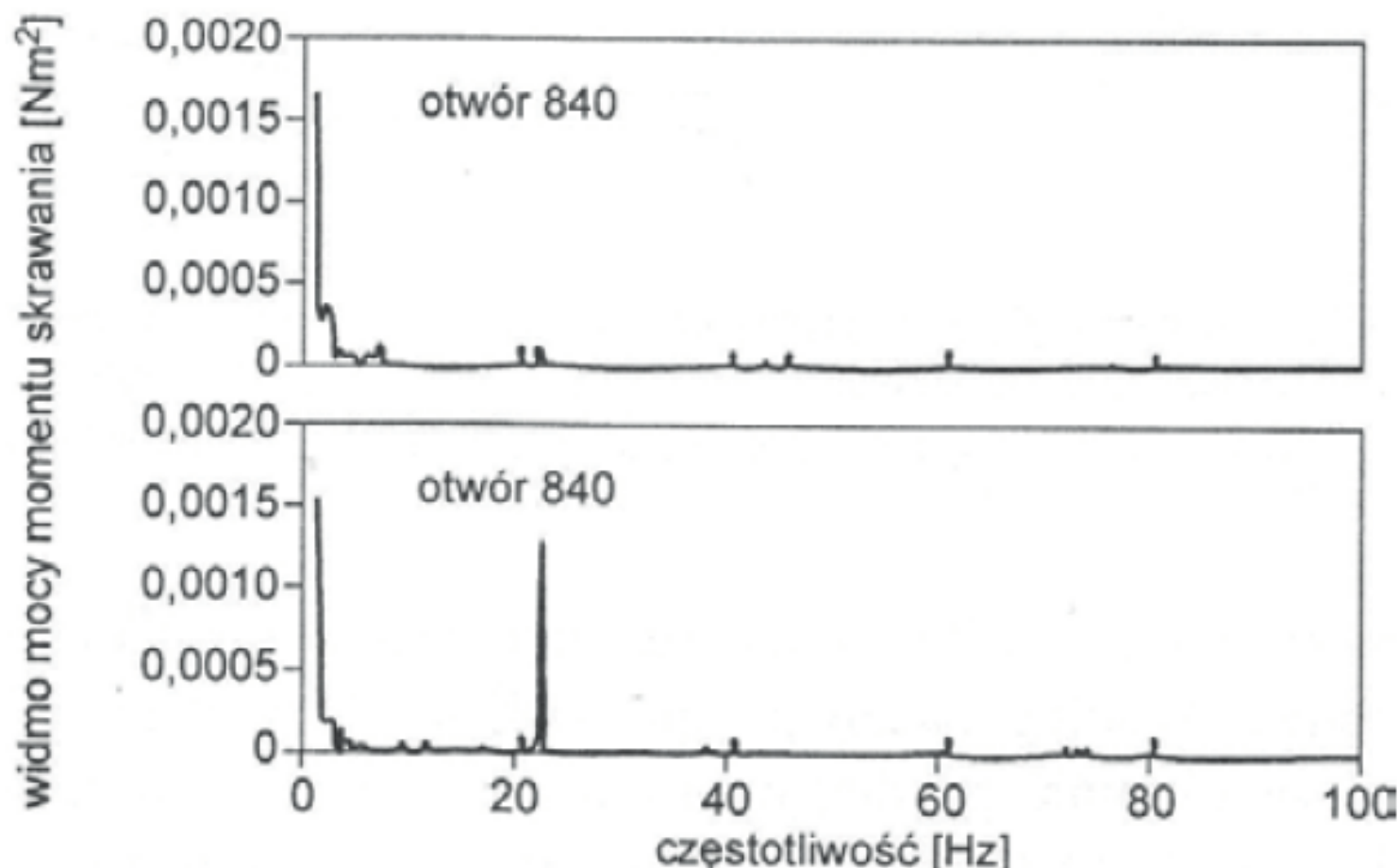
$f = 0,18$ mm

filtr dolnoprzepustowy 10 Hz

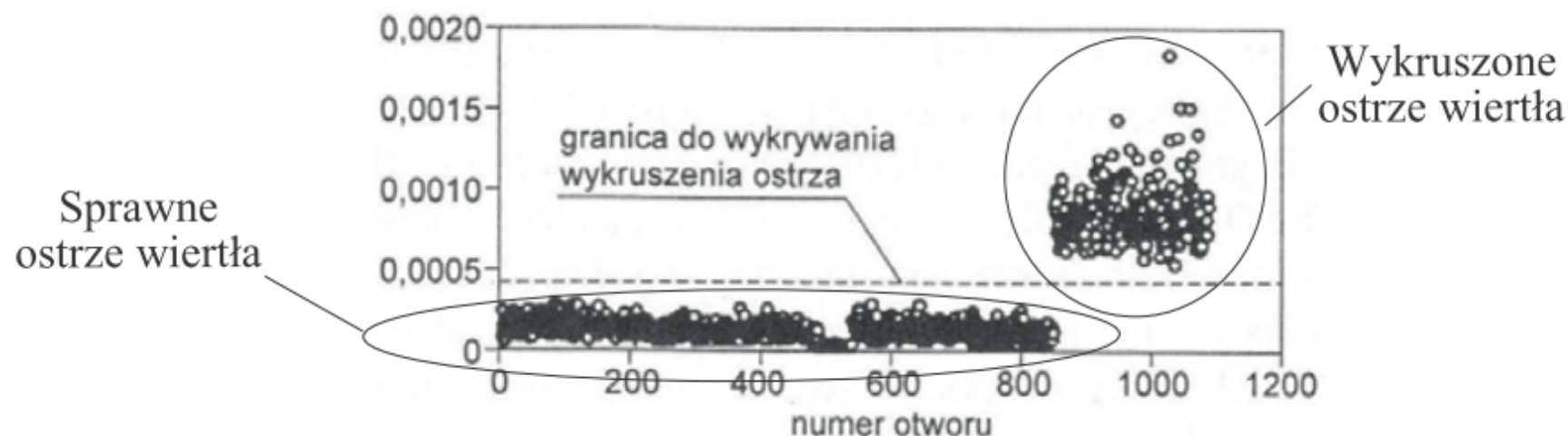


Sygnal momentu skręcającego do stępienia ostrza

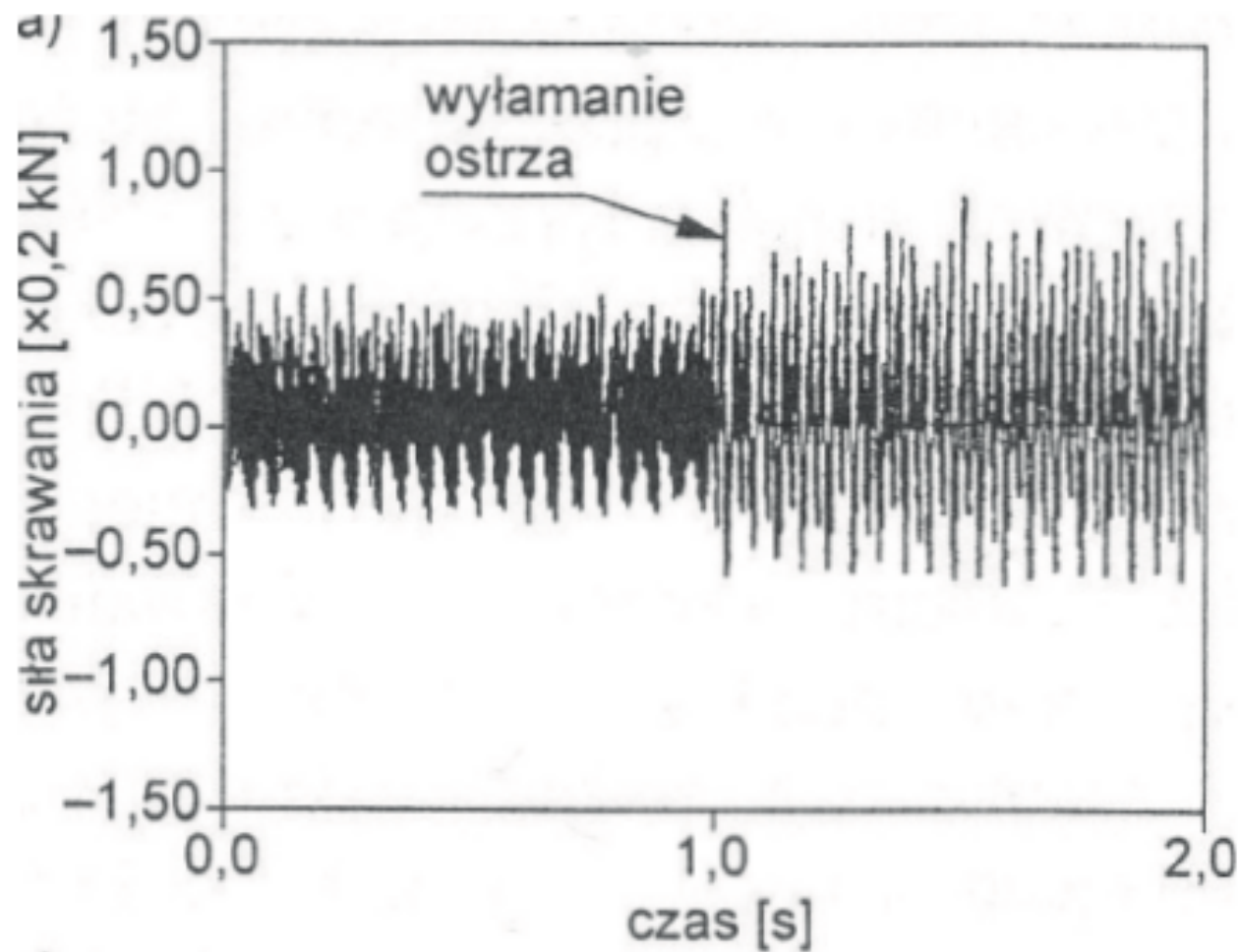
Wyniki obserwacji momentu skręcającego podczas wiercenia wiertłem krętym kolejnych otworów o głębokości 36 mm (wg Tönshoff'a)



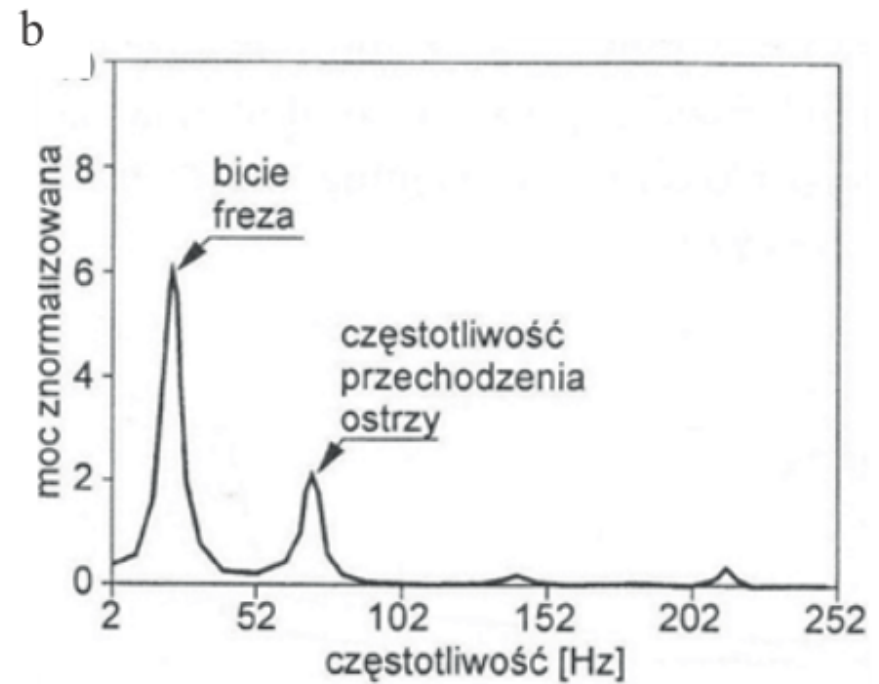
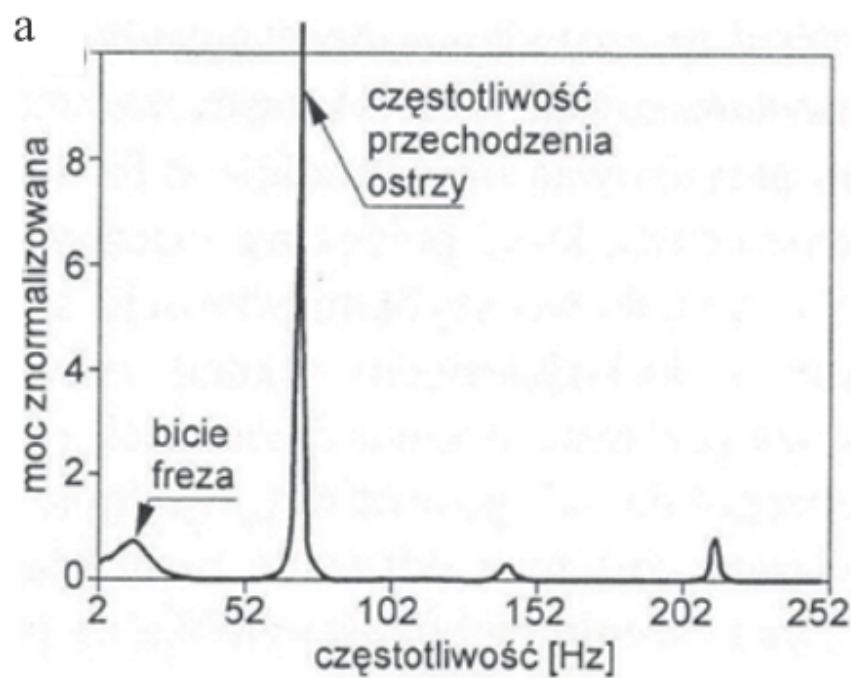
Widmo mocy sygnału momentu skrawania podczas wiercenia w stali wiertłem HSS o średnicy 5 mm, $n=1300$ obr/min, $f=0,1$ mm/obr. (wg Ohzeki H., Suda I., Mashine A.)



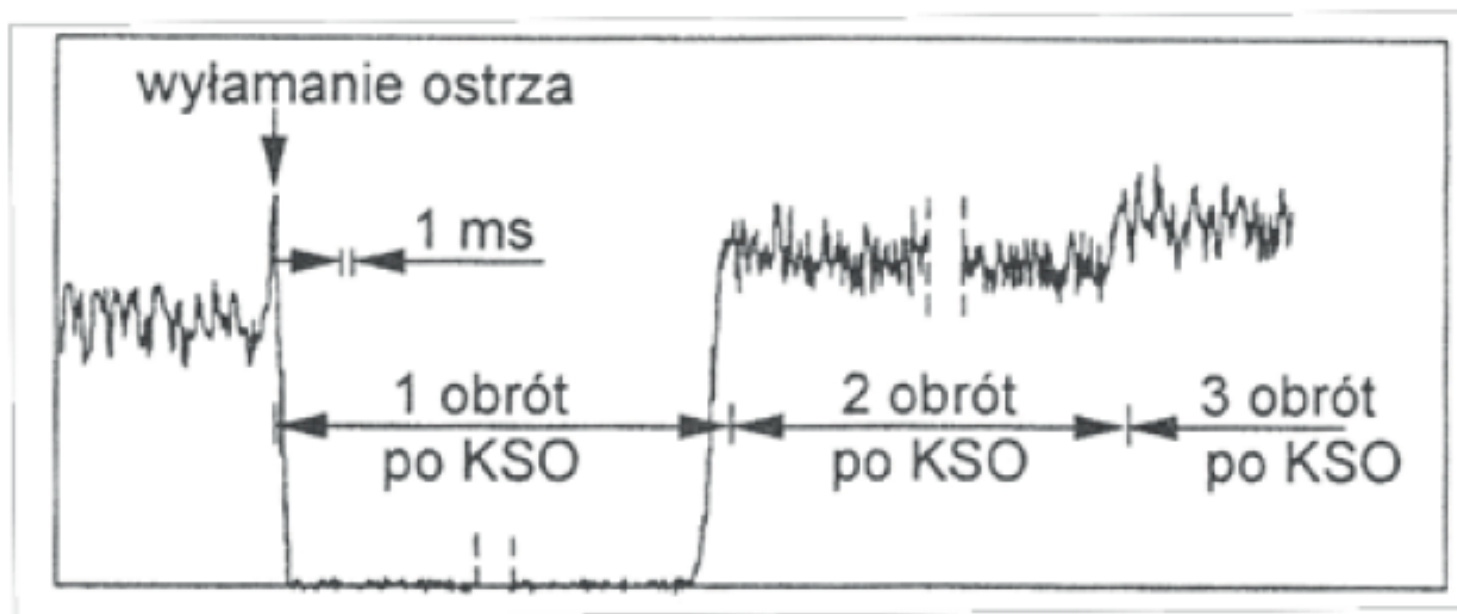
Zbiory wartości widma mocy sygnału momentu skrawania dla stanów sprawnego ostrza i stanu katastroficznego w funkcji numeru kolejno obrabianych otworów (wg Ohzeki H., Suda I., Mashine A)



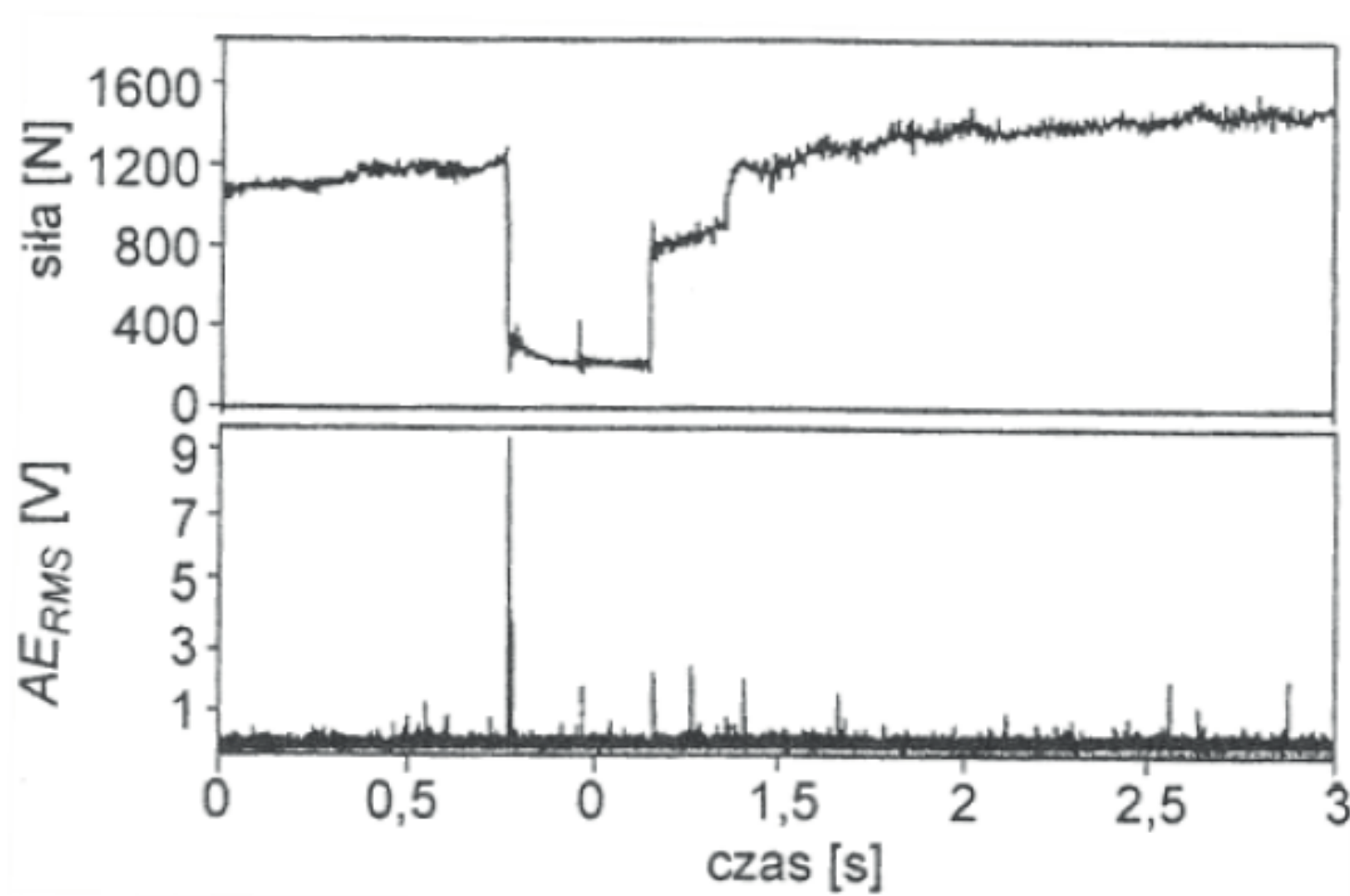
Zmiana amplitudy i charakteru sygnału składowej zmiennej siły skrawania po wykruszeniu ostrza frezu (wg Ko T.J., Cho D.W., Jung M. Y)



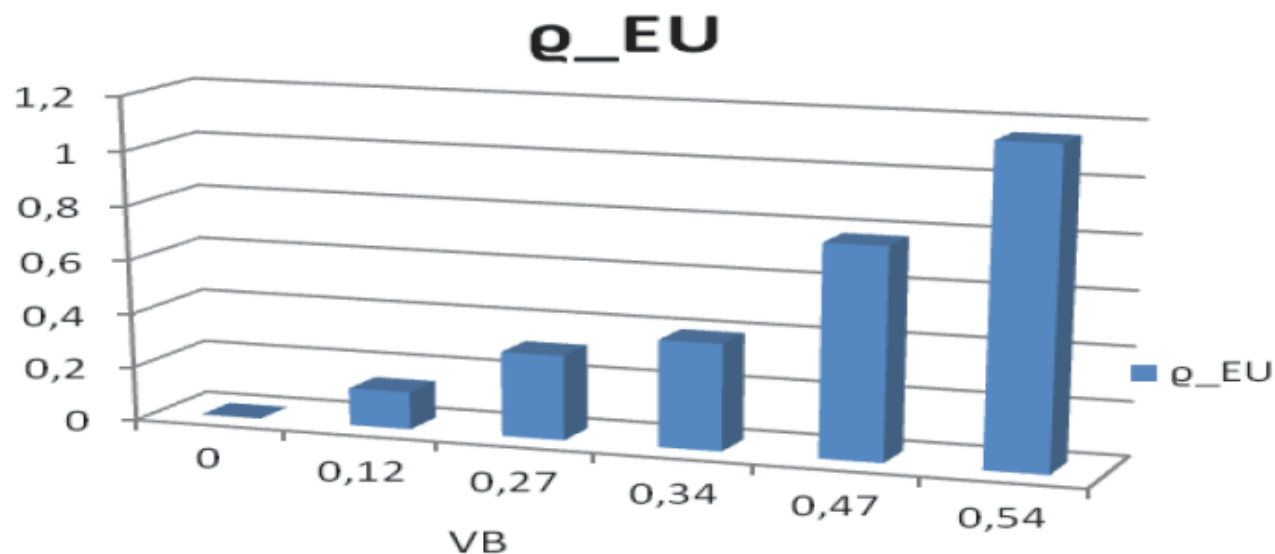
Analiza widmowa przebiegu czasowego przed (a) oraz po wyłamaniu ostrza frezu (b) (wg Ko T.J., Cho D.W., Jung M. Y)



Przykładowy przebieg zmian składowej F_f w czasie wyłamania ostrza (wg WZL TH Aachen)



Charakterystyczny „wybuch” sygnału AERMS w momencie wykruszenia ostrza narzędzia i odpowiadający temu przebieg składowej siły skrawania (wg Emel E., Kannatey – Asibu E. Jr.)



Zmiana wartości odległości Euklidesowej wektora widma amplitudowego sygnału względem wektora widma dla narzędzia ostrego

KONIEC