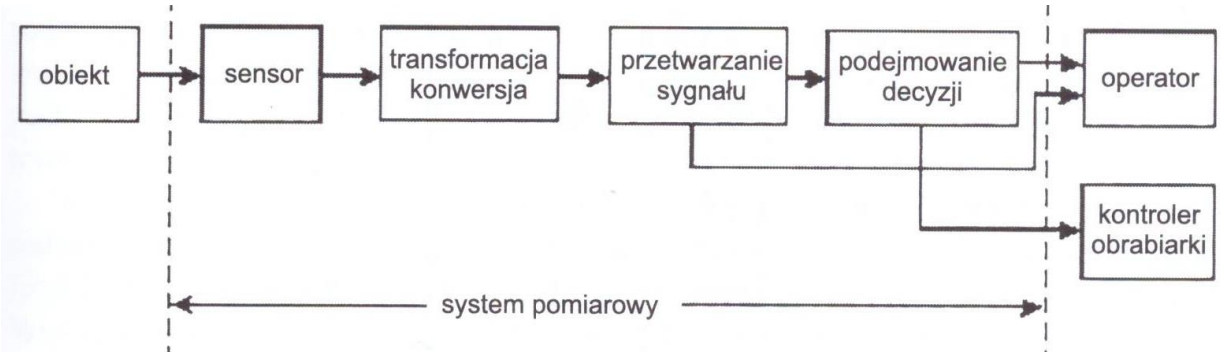
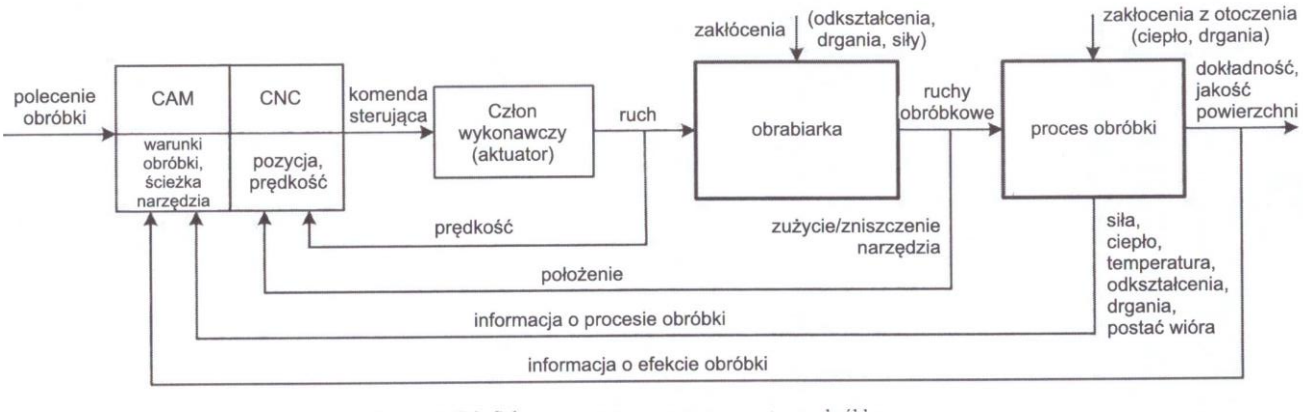
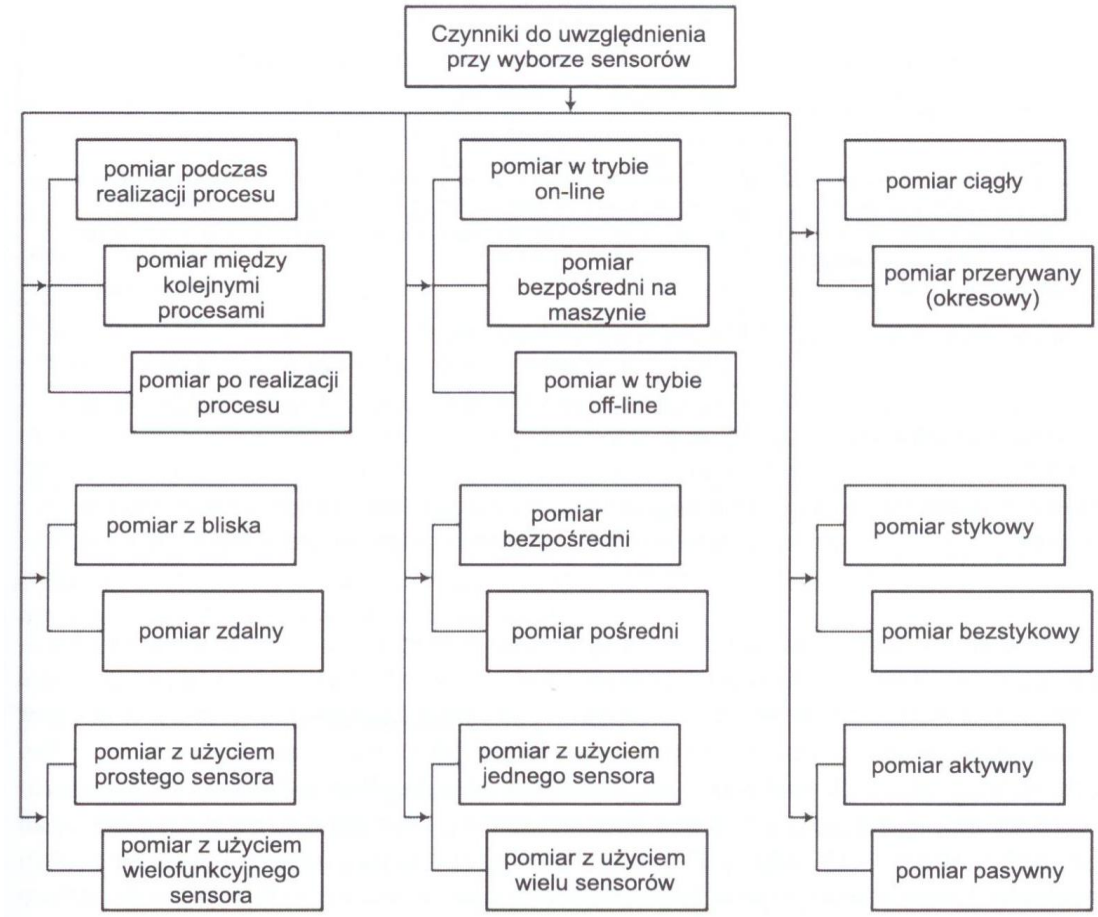
Materiały-zestawienia przygotowane na podst. *Skoczyński W.: Sensory w obrabiarkach CNC*



Schemat funkcjonalny systemu pomiarowego w obróbce mechanicznej



Schemat zautomatyzowanego systemu obróbkowego



Warunki, które powinny spełniać sensory do monitorowania procesu obróbki:

- łatwość w użyciu, montażu i eksploatacji oraz dostępność
- brak oddziaływań zakłócających pracę obrabiarki
- odporność na wpływ otoczenia i proces obróbki
- dokładność i dobra rozdzielczość

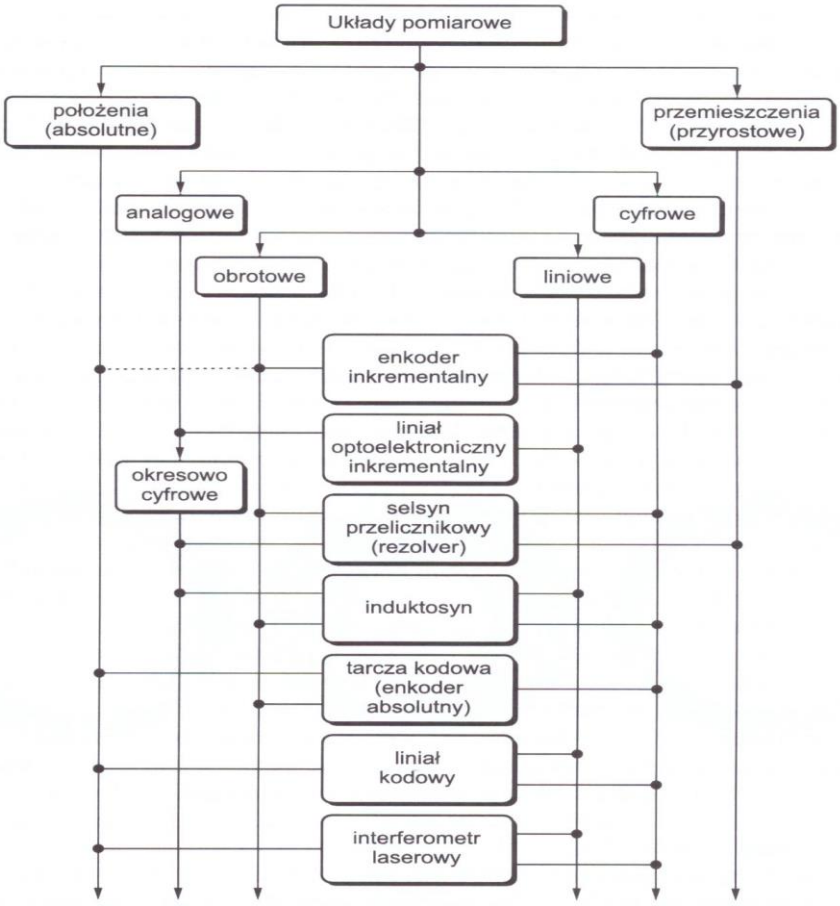
Monitorowanie systemów wytwórczych oraz mierzone wielkości

Obiekt pomiarów i monitorowania	Wielkość mierzona	Cel pomiarów i monitorowania
Przedmiot obrabiany	• stan zamocowania przedmiotu • geometryczna i wymiarowa dokładność obróbki • chropowatość powierzchni • jakość warstwy wierzchniej	• zapewnienie wysokiej jakości • unikanie uszkodzeń przedmiotu i braków
Proces obróbki	• siły i momenty skrawania • wytwarzanie ciepła • temperatura • drgania • hałas • postać wiórów	• zapewnienie prawidłowych warunków procesu obróbki • przewidywanie i unikanie stanów nienormalnych (np. awaryjnych)
Narzędzie	• położenie krawędzi skrawającej • zużycie ostrza • katastroficzne stępienie ostrza (złamania, wykruszenia itp.)	• zapewnienie wymiany narzędzia na czas • unikanie uszkodzeń narzędzi i pogorszenia przedmiotu obrabianego
Obrabiarka i wyposażenie	• awarie • drgania • odkształcenia (sprężyste, cieplne)	• zapewnienie poprawnej pracy obrabiarki i wysokiej dokładności obróbki
Środowisko	• zmiany temperatury otoczenia • drgania zewnętrzne • stan cieczy obróbkowej	• minimalizacja wpływu otoczenia na obróbkę

Problemy podczas pomiarów w systemach obróbkowych

Czynnik wpływający na występowanie problemów pomiarowych	Przykłady
Trudności z przeprowadzeniem pomiaru podczas realizacji procesu w trybie on-line	geometryczna i wymiarowa dokładność przedmiotu obrabianego, chropowatość i jakość powierzchni przedmiotu obrabianego, zużycie i uszkodzenie narzędzia, odkształcenia termiczne obrabiarki
Trudności z przeprowadzeniem pomiaru bezpośredniego	zużycie i uszkodzenie narzędzia w skrawaniu ciągłym, odkształcenia termiczne obrabiarki
Zbyt duża odległość między obiektem a miejscem pomiaru	oddalenie strefy skrawania/szlifowania od miejsca, w którym może być umieszczony sensor
Zainstalowanie sensora nie powinno wpływać na proces obróbki i sztywność systemu obróbkowego	zmniejszanie sztywności narzędzia lub elementów obrabiarki w celu pośredniego pomiaru siły na podstawie zmian naprężeń
Oddziaływanie środowiska	obecność płynu obróbkowego, zakłócenia elektryczne spowodowane obwodem zasilania
Transmisja sygnału przez wirujący lub przesuwający się element	transmisja sygnału z wirującego wrzeciona lub szybko przesuwającego się stołu
Duże zróżnicowanie metod obróbki	wymaganie, aby sensory były efektywne dla różnych rodzajów obróbki, jak np. frezowanie, wiercenie, gwintowanie na jednej obrabiarce

Klasyfikacja układów pomiarowych przemieszczenia stosowanych w obrabiarkach



Porównanie cech enkoderów obrotowych

Cecha charakterystyczna	Metoda pomiaru			
	optyczna	magnetyczna	indukcyjna	pojemnościowa
Dokładność	++	+	+	+
Odporność na pole magnetyczne	++	–	–	++
Zakres temperatur	+	++	++	++
Stabilność długoterminowa	+	++	++	++
Odporność na zapylenie	–	++	++	+
Odporność na zawilgocenie	–	++	++	+
Trwałość	–	++	++	++
Niski pobór energii	–	–	–	++
Odporność na wibracje/uderzenia	–	++	++	++

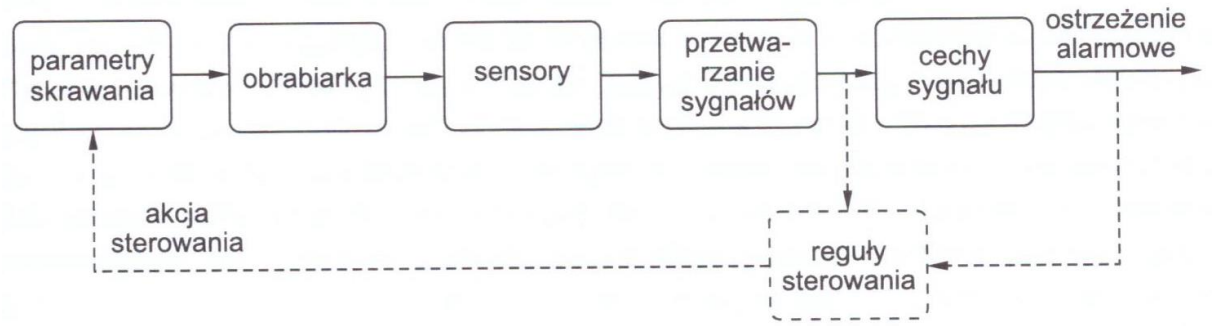
Porównanie precyzyjnych metod bezwzględnych pomiarów odległości

Typ czujnika	Cechy charakterystyczne
Absolutny enkoder liniowy	pojedyncza ścieżka absolutna z M-kodem + interpolacja z użyciem ścieżki inkrementalnej lub ultraszybkiej kamery cyfrowej rozdzielczość 1 nm na długości 4 m (32-bitowa) lub na długości 10 m (36-bitowa) pomiary przy dużych prędkościach do 100 m/s i niski koszt zastosowanie w obrabiarkach główne źródła niepewności: błędy wytwarzania oraz rozszerzalność cieplna podziałki
Czujnik odległości na bazie pomiaru czasu przelotu wiązki światła	laser impulsowy typu Q-Switch, laser modulowany falą ciągłą lub laser femtosekundowy rozdzielczość mikrometrowa w zakresie 10 m dla systemu z laserem modulowanym falą ciągłą lub nanometrową w zakresie ponad 700 m z femtosekundowym systemem laserowym kiloherzowa szerokość pasma częstotliwości z femtosekundowym systemem laserowym główne źródła niepewności: zmiany współczynnika załamania powietrza, błędy modulacji, przepustowość detekcyjna
Absolutny interferometer laserowy	lasery o różnych długościach fali (minimum dwa) lub laser femtosekundowy wykorzystujący grzebień częstotliwości optycznych (ang. *optical comb system*) nanometrowa rozdzielczość w zakresie 1 m dla systemu z laserem modulowanym falą ciągłą, nanometrowa rozdzielczość w zakresie ponad 100 m dla układu z laserem femtosekundowm wykorzystującym grzebień częstotliwości optycznych główne źródła niepewności: błąd współczynnika załamania powietrza, błędy długości fali

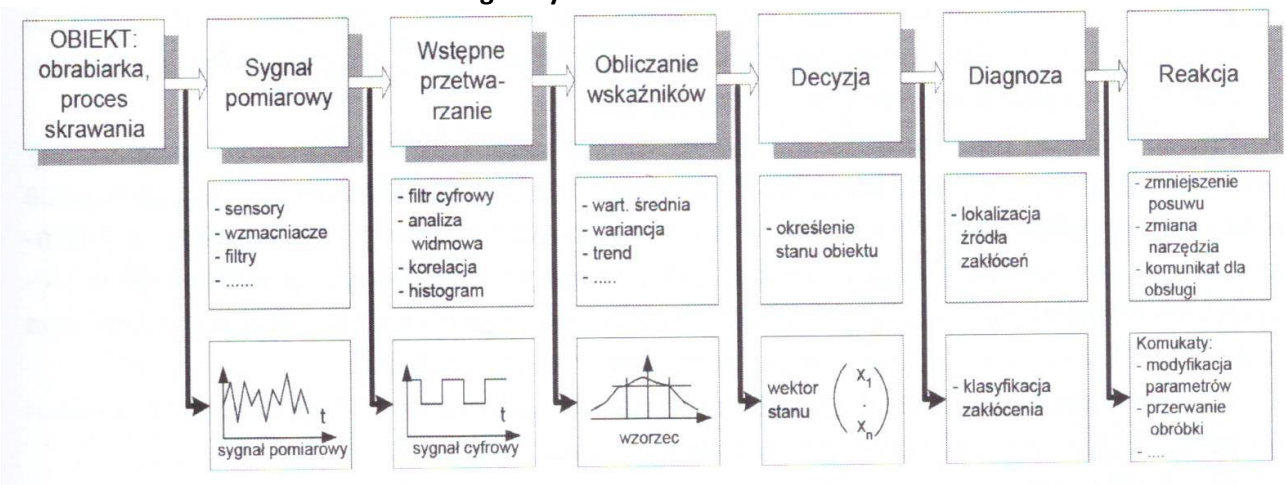
Cechy czujników stosowanych do nanopozycjonowania

Typ czujnika	Czułość (rozdziel-czość)	Liniowość	Stabilność /powtarzal-ność	Pasmo przeno-szenia	Metoda pomiaru	Sygnał wzbu-dzenia
Pojemno-ściowy	najlepsza	najlepsza	najlepsza	najlepsze	bezpośrednia, bezkontak-towa	prąd zmienny
Tensome-tryczny	lepsza	dobra	dobra	lepsze	pośrednia, stykowa	prąd stały
Induk-cyjny LVDT	dobra	dobra	lepsza	dobre	bezpośrednia, bezkontak-towa	prąd zmienny
Enkoder liniowy	najlepsza (dla zakresów > 1 mm)	najlepsza (dla zakresów > 1 mm)	najlepsza (dla zakresów > 1 mm)	lepsze	bezpośrednia, bezkontak-towa	prąd stały

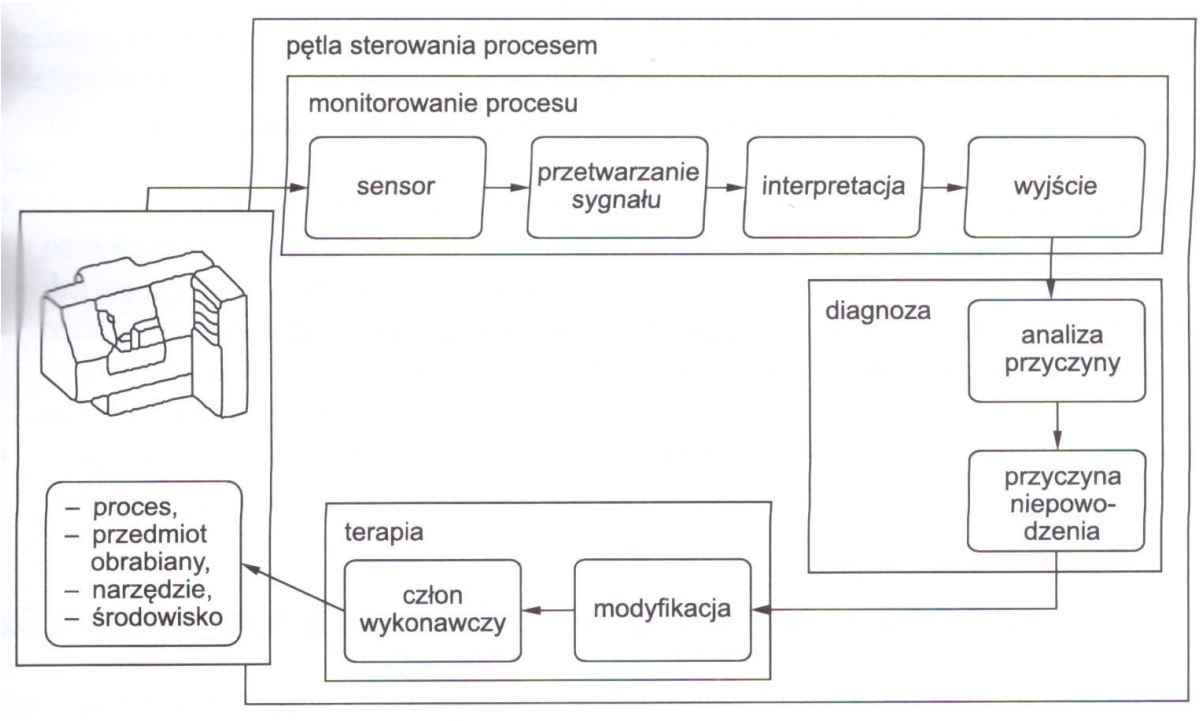
Struktura systemu diagnostyki i nadzorowania obrabiarek



Zadania układu diagnostyki i nadzorowania i nadzoru obrabiarek



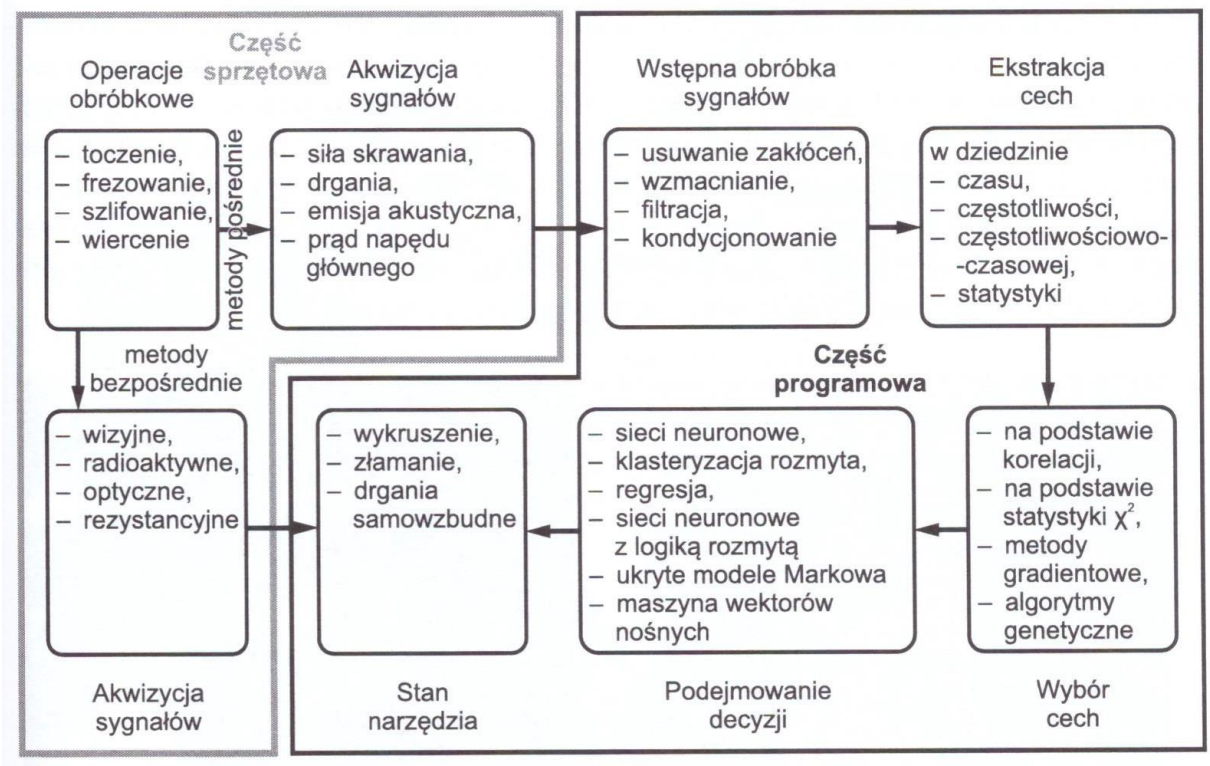
Elementy pętli sterowania procesem



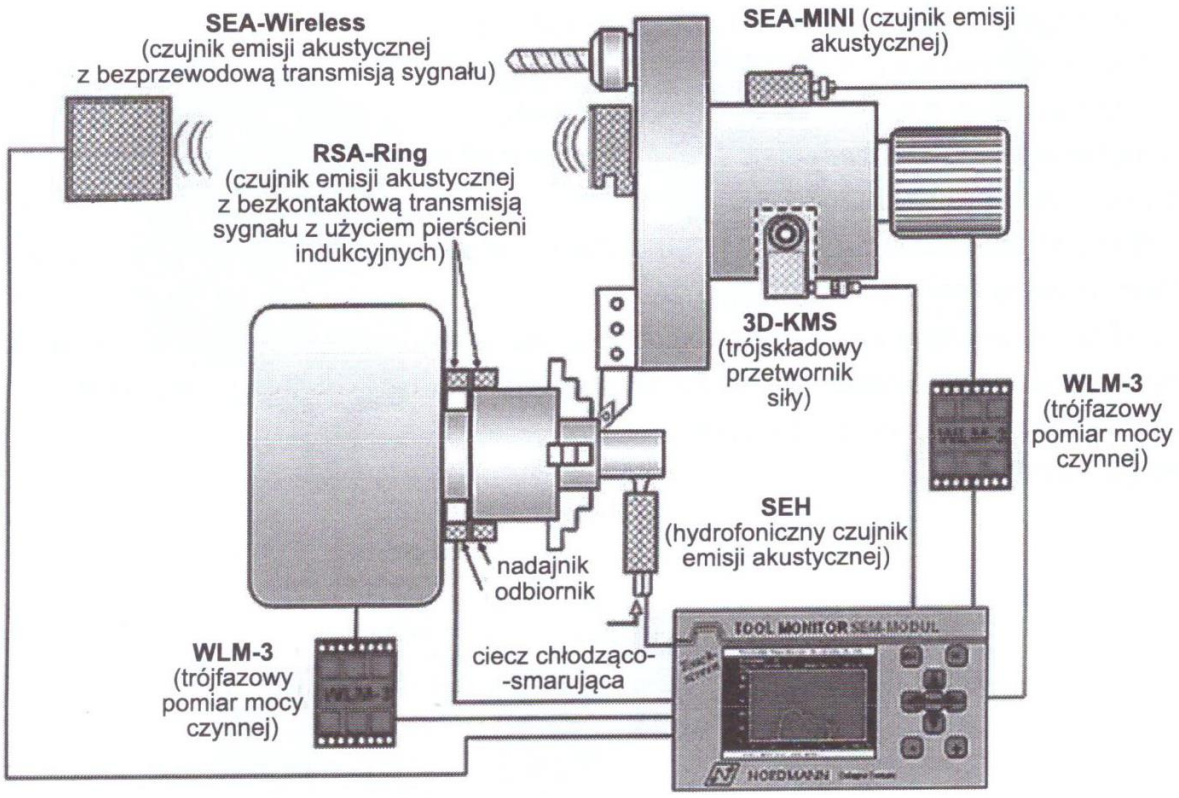
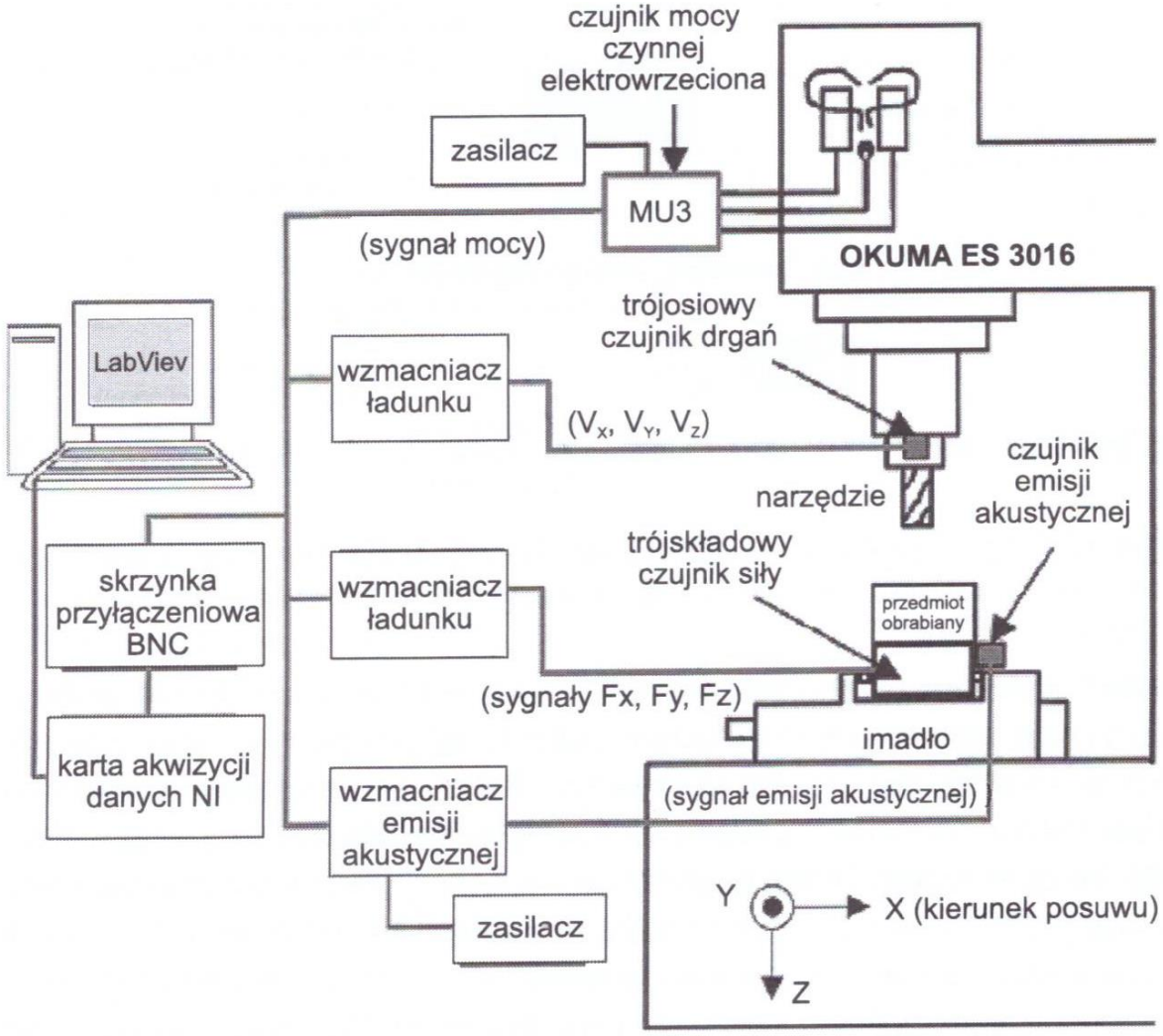
Zalecane parametry monitorowania układu wrzecionowego

Postać błędu	Obserwowany parametr							
	Siła skrawania	Prąd napędu	Moc napędu	Drgania	Natężenie dźwięku	Temperatura narzędzia	Temperatura zespołu wrzecionowego	Temperatura napędu (mechanizmu)
Zużycie narzędzia	x	x	x	x	x	x		
Uszkodzenie narzędzia	x	x	x					
Kolizja narzędzia	x	x	x					
Niestabilna obróbka	x				x	x	x	
Niewspółosiowość wrzeciona					x	x		
Niewystarczające chłodzenie						x	x	x
Błędy ułożyskowania		x	x				x	x
Kolizje	x	x	x					
Przeciążenie oprawki narzę-dziowej	x	x	x					

Struktura systemu monitorowania i diagnostyki stanu narzędzi



Zestaw sensorów do monitorowania stanu narzędzi na tokarce



Wieloczujnikowy system monitorowania stanu narzędzi