

## ANALIZA CZASOWA I OBWIEDNIA

Analiza czasowa – dostarcza informacji o zmienności amplitudy w czasie.

Wynik analizy: wykres amplitudy w funkcji czasu.

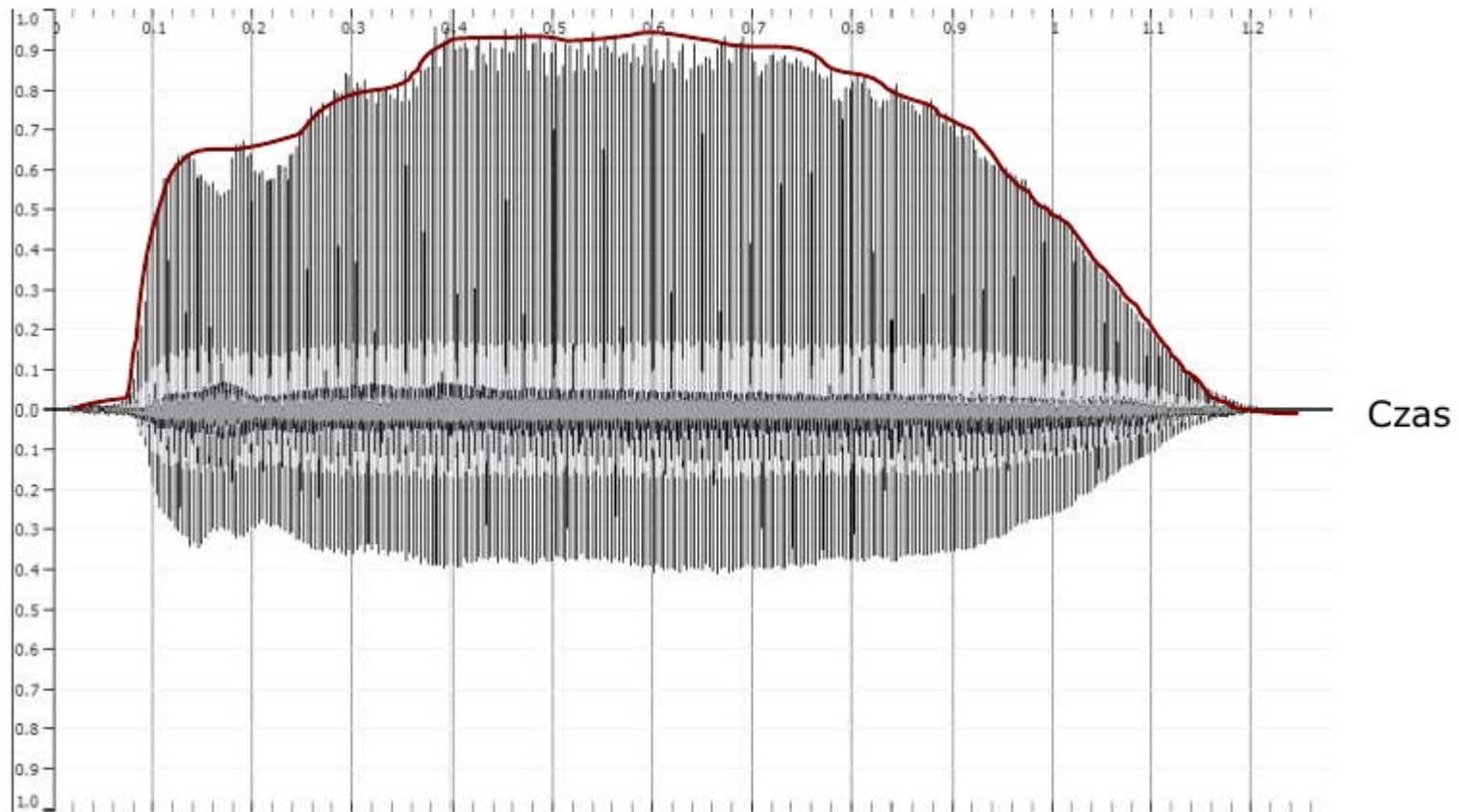
Obwiednia sygnału (envelope) – krzywa łącząca „szczyty” wykresu czasowego.

Zmiany obwiedni odzwierciedlają zmiany np. głośności dźwięku.



## ANALIZA CZASOWA

Amplituda

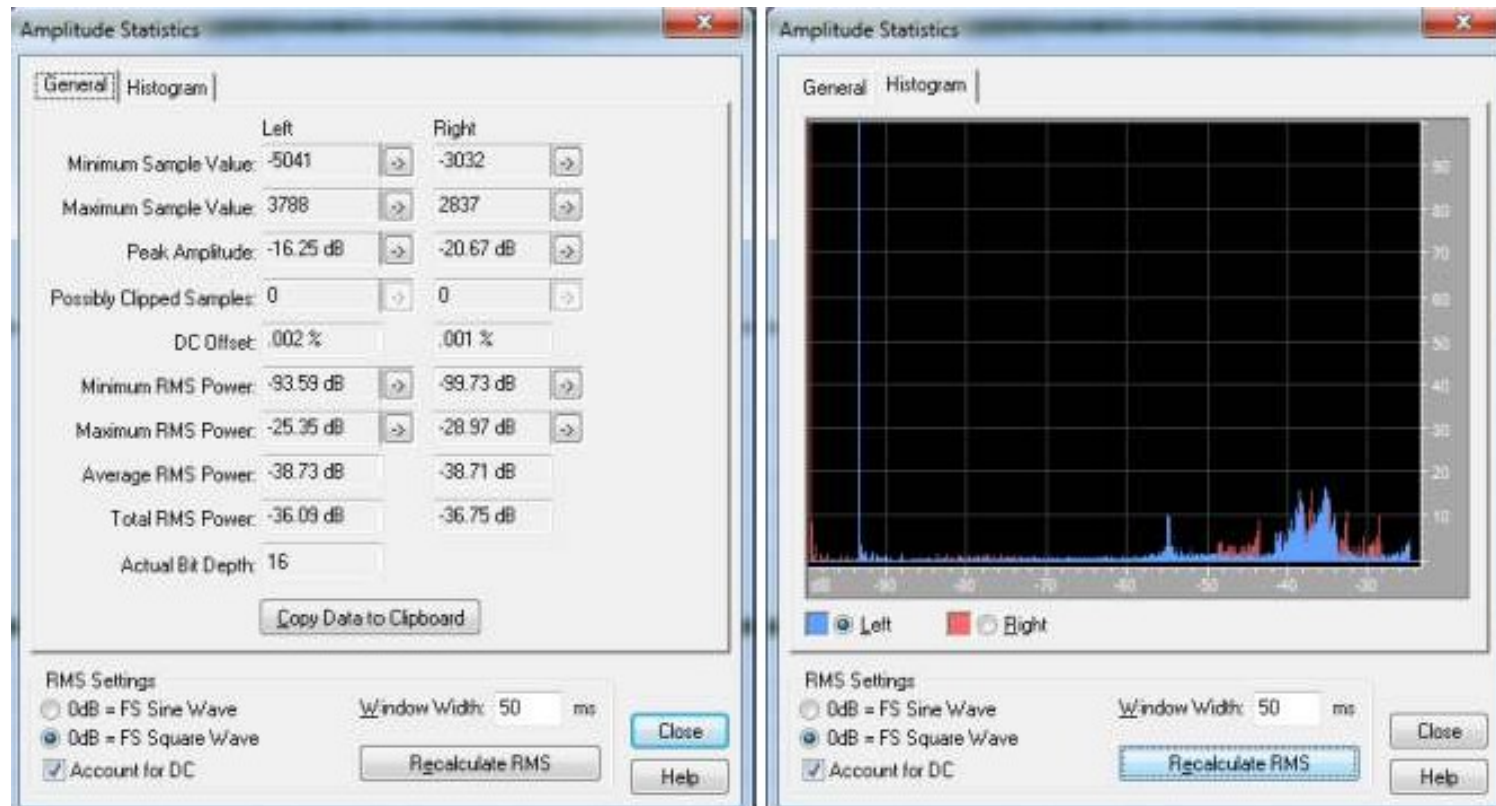




## ANALIZA STATYSTYCZNA AMPLITUDY

Podstawowe parametry statystyczne:

- wartość szczytowa i średnia
- moc skuteczna (RMS power) – minimalna,
- maksymalna, średnia, całkowita
- histogram rozkładu amplitud





## ANALIZA CZĘSTOTLIWOŚCIOWA

- WIDMO SYGNAŁU – ROZKŁAD NATĘŻENIA SKŁADOWYCH SYGNAŁU W ZALEŻNOŚCI OD CZĘSTOTLIWOŚCI TYCH SKŁADOWYCH.
- ANALIZA CZĘSTOTLIWOŚCIOWA – OBLICZENIE WIDMA DLA WYBRANEGO FRAGMENTU SYGNAŁU.
- JEST TO WIDMO STATYCZNE – DLA OKREŚLONEGO PUNKTU W CZASIE.
- ANALIZA CZĘSTOTLIWOŚCIOWA DOSTARCZA INFORMACJI O STRUKTURZE WIDMOWEJ SYGNAŁU.



## ANALIZA FOURIERA

Przypomnienie:

Dowolny sygnał okresowy można przedstawić w postaci sumy sygnałów sinusoidalnych o odpowiednich amplitudach i częstotliwościach (szereg Fouriera).

Dla sygnału cyfrowego – dyskretne przekształcenie Fouriera (DFT) i jego „szybka” wersja – FFT (bloki o długości  $2N$ )

Uwaga – terminologia:

- transformacja Fouriera – obliczanie widma
- transformata Fouriera – wynik przekształcenia



## ANALIZA FOURIERA

Jak obliczamy widmo:

- „wycinamy” z sygnału blok próbek za pomocą funkcji okna (jesteśmy w dziedzinie czasu), obliczamy przekształcenie Fouriera (FFT),
- przechodzimy do dziedziny częstotliwości wynik przedstawiamy na wykresie: amplituda (lub poziom) w funkcji częstotliwości
- uzyskujemy widmo statyczne w wybranym punkcie czasu



## ANALIZA CZASOWO-CZĘSTOTLIWOŚCIOWA

Widmo statyczne jest obserwowane w wybranym punkcie skali czasu.

Widmo drgań jest dynamiczne - zmienne w czasie („ewoluuje”).

Aby uzyskać informacje o zmianach, potrzebujemy zbadać widmo w różnych punktach skali czasu, dla całego sygnału.

Analiza czasowo – częstotliwościowa: połączenie wyników analizy częstotliwościowej dla kolejnych punktów czasu.



## ANALIZA CZASOWO-CZĘSTOTLIWOŚCIOWA

Analiza FFT czasowo-częstotliwościowa:

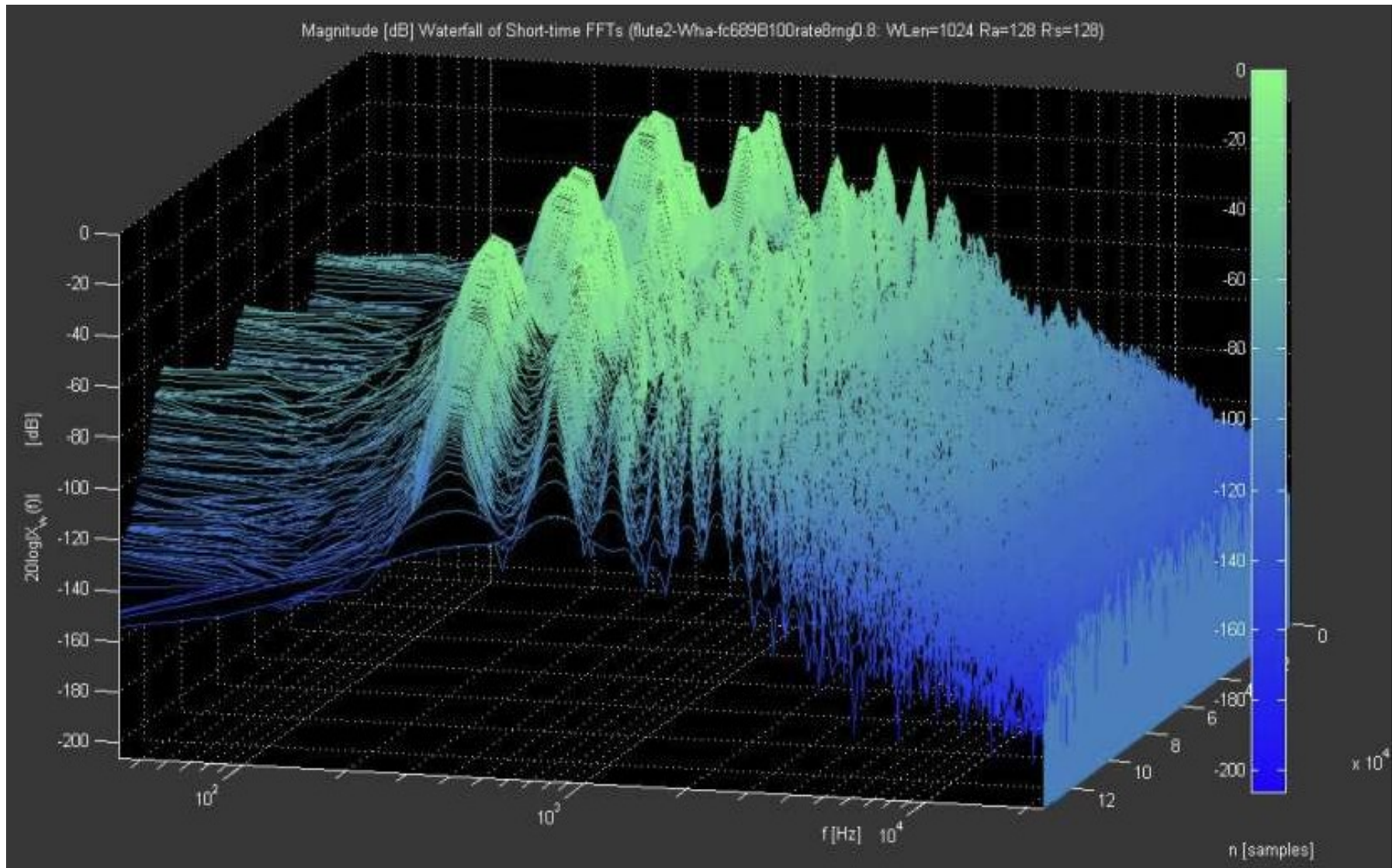
1. Dzielimy oś czasu na przedziały
2. Dla każdego przedziału obliczamy statyczne widmo
3. Łączymy wszystkie wyniki analizy
4. Wynik przedstawiamy na trójwymiarowym wykresie: czas – częstotliwość – amplituda.

Jak przedstawić wykres 3D na płaszczyźnie?

- wykres typu waterfall
- spektrogram

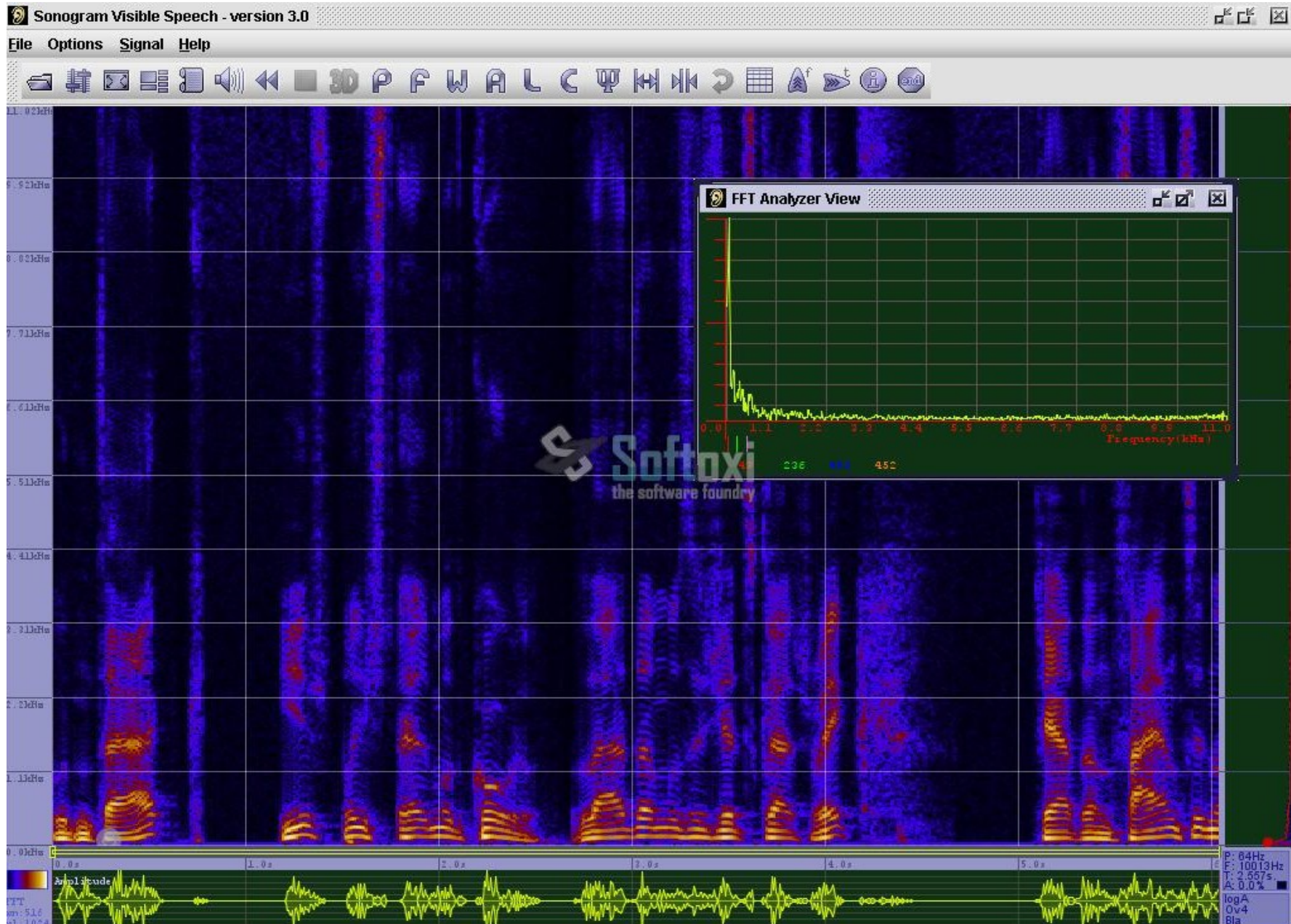


## WYKRES TYPU WATERFALL





## SPEKTROGRAM





## ROZDZIELCZOŚĆ CZĘSTOTLIWOŚCIOWA

### Jaki rozmiar okna analizy?

Musi być  $2^N$ , gdy stosujemy FFT.

Weźmy więc 512 próbek.

W wyniku FFT dostajemy tyle samo wartości, pokrywających zakres od  $-FS/2$  do  $F S/2$ .

Każda wartość FFT wpada do jednego z 512 przedziałów o szerokości  $FS/512$  Dla  $FS = 44,1$  kHz daje to 86,13 Hz

Tyle wynosi rozdzielczość częstotliwościowa analizy – nie rozróżnimy dwóch składowych odległych o mniej niż 86,13 Hz.



## ROZDZIELCZOŚĆ CZASOWA

Zatem większe okno jest lepsze?

Weźmy 4096 próbek.

Rozdzielczość częstotliwościowa: 10,77 Hz (8 razy większa)

Ale teraz okno pokrywa zakres 92,88 ms (wcześniej 11,61 ms)

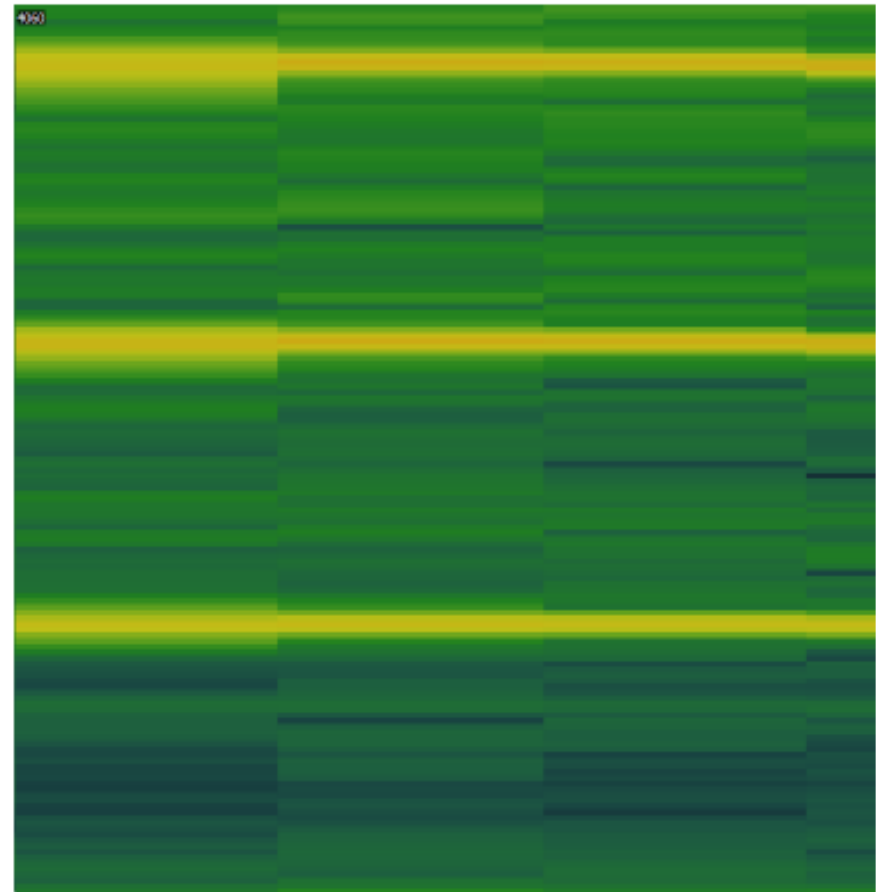
Nie rozróżnimy zdarzeń czasowych w odstępie mniejszym niż 92,88 ms.

Poprawiliśmy rozdzielczość częstotliwościową, pogorszyliśmy rozdzielczość czasową.



# ROZDZIELCZOŚĆ CZASOWO-CZĘSTOTLIWOŚCIOWA

Spektrogram dla okna 512 i 4096 próbek  
(wyłączone zakładowanie)





## ZAKŁADKOWANIE

Zakładkowanie (overlapping) – sąsiednie przedziały czasowe analizy widmowej pokrywają się (stosuje się najczęściej: 25%, 50%, 75% zakładki).

Korzyści:

- zwiększenie rozdzielczości czasowej,
- zmniejszenie zniekształceń sygnału,
- spowodowane funkcją okna,

Wada: zwiększenie czasu analizy (więcej przedziałów).



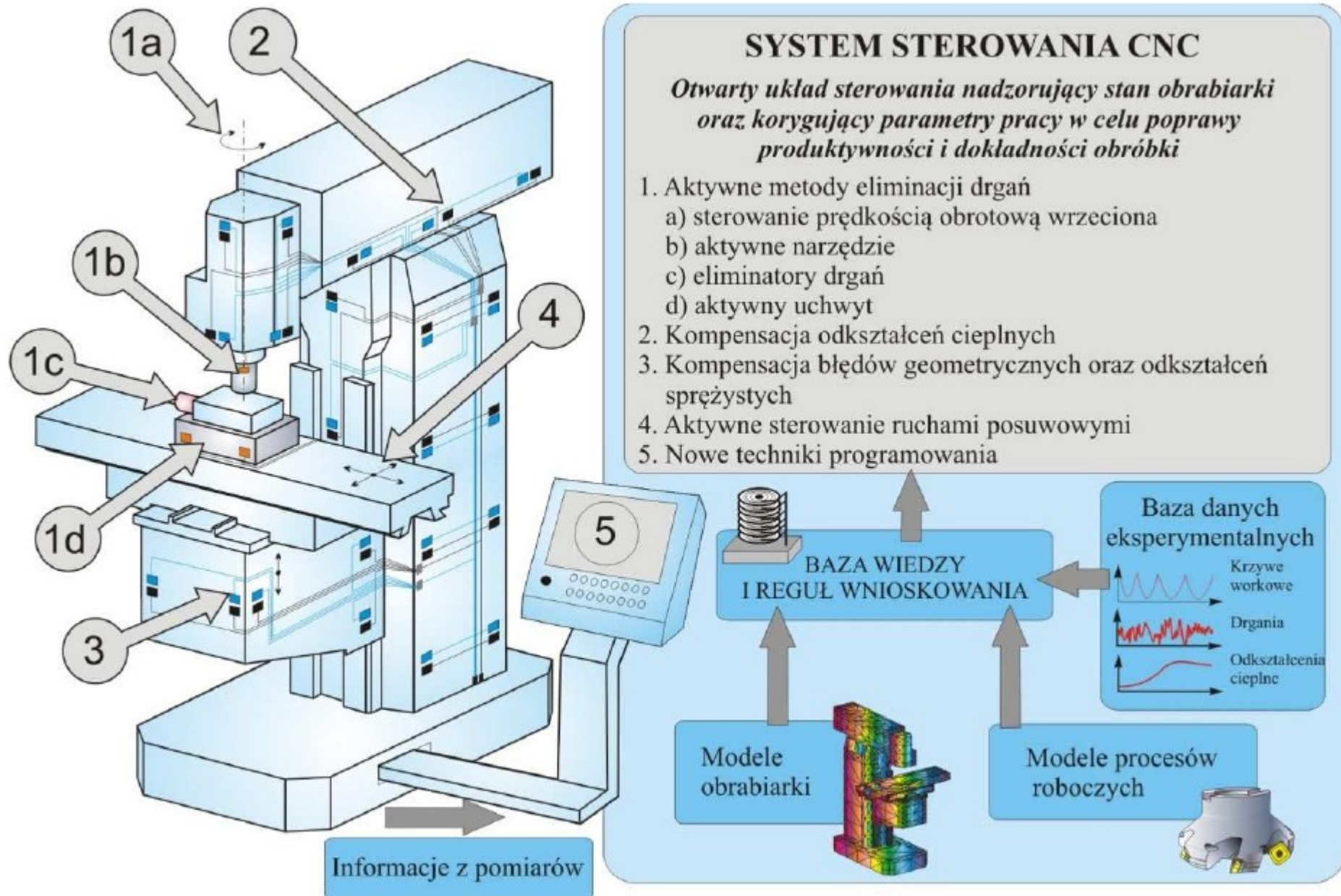
Sterowanie obrabiarką i diagnozowanie jej stanów dynamicznych możliwe jest na wielu poziomach hierarchicznego układu nadzoru.

Niezbędne podsystemy tego układu stanowią niejednokrotnie tematykę badań cząstkowych podejmowanych przez różne ośrodki badawcze krajowe i zagraniczne.

Są to:

- otwarte systemy sterowania CNC,
- aktywne metody eliminacji drgań,
- kompensacja odkształceń cieplnych obrabiarki,
- kompensacja błędów geometrycznych oraz odkształceń sprężystych,
- aktywne sterowanie ruchami posuwowymi,
- nowe techniki programowania obrabiarek.







Zdecydowana większość współcześnie wykorzystywanych systemów sterowania obrabiarek CNC jest całkowicie zamknięta dla użytkownika

Przyczyn tego stanu rzeczy należy doszukiwać się przede wszystkim w przesłankach ekonomicznych, jakimi kierują się producenci systemów sterowania, tj. ochrona własnych rozwiązań i próby tworzenia zamkniętego rynku zbytu.

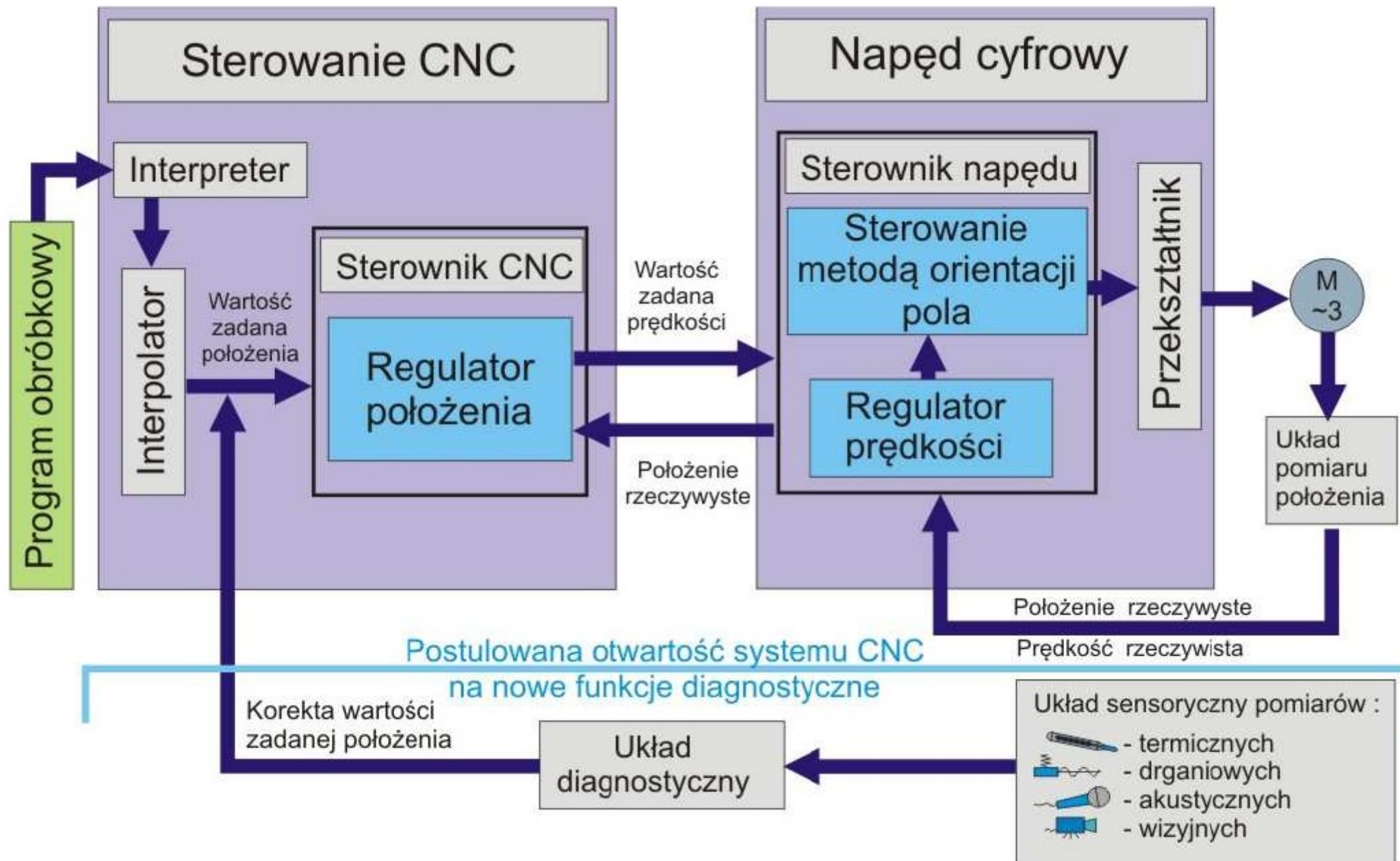
Producenci systemów CNC często określają swoje rozwiązania jako systemy otwarte, jednakże otwartość ta sprowadza się li tylko do możliwości współpracy układu sterowania z napędami, układami pomiarowymi lub innymi komponentami automatyki dostarczanych przez innych producentów.



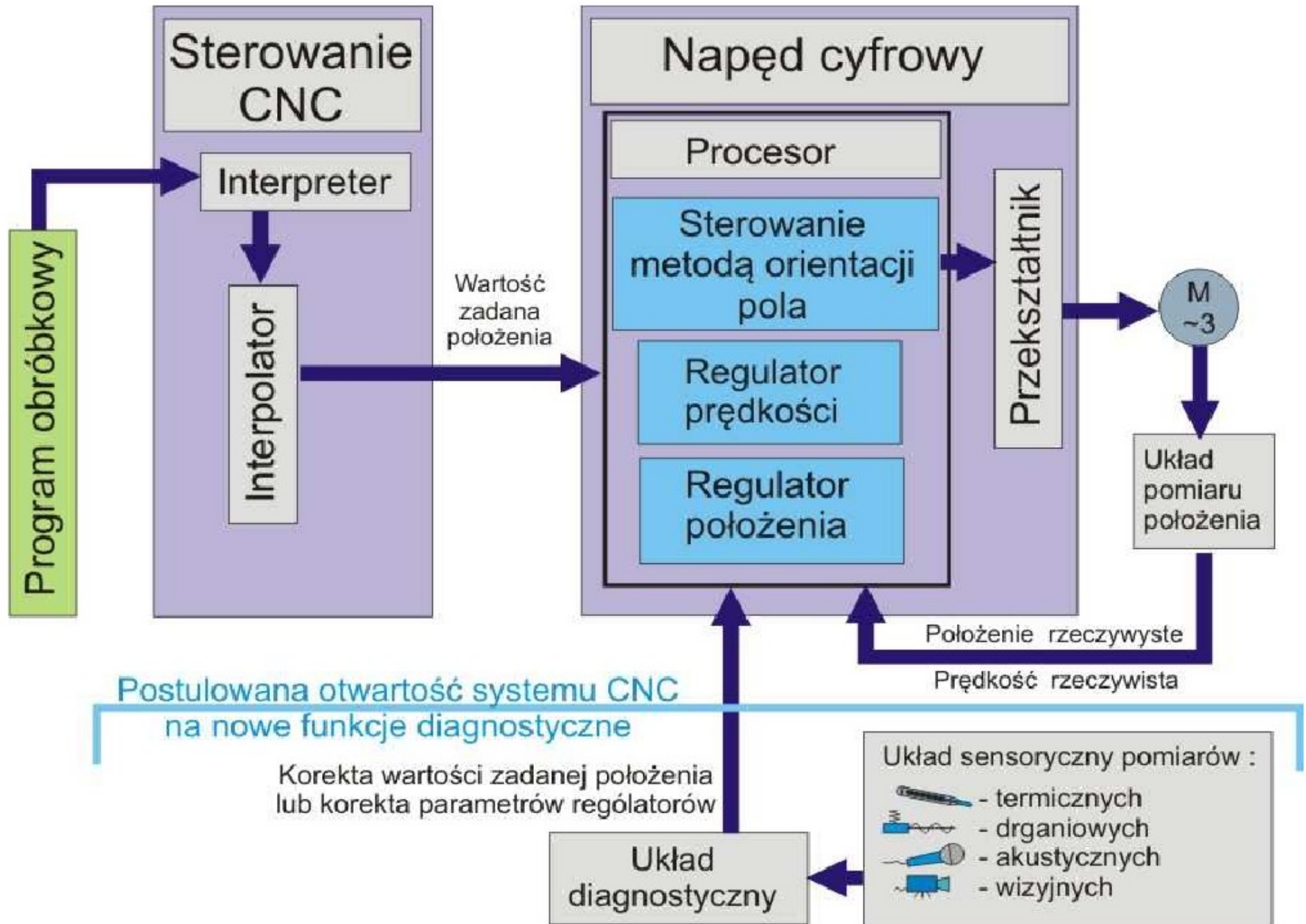
Celem oceny otwartości systemu sterowania wprowadza się następujące kryteria oceny:

- przenośność – moduły systemu mogą być wykorzystywane na różnych platformach sprzętowych,
- rozszerzalność – w zależności od potrzeb system może się składać ze zmiennej liczby modułów,
- współdziałanie – moduły systemu wymieniają dane w standardowy sposób z otoczeniem oraz komunikują się w identyczny sposób pomiędzy sobą,
- skalowalność – zależnie od wymogów sterowanego procesu możliwe jest dostosowanie systemu tak w warstwie programowej jak i sprzętowej.









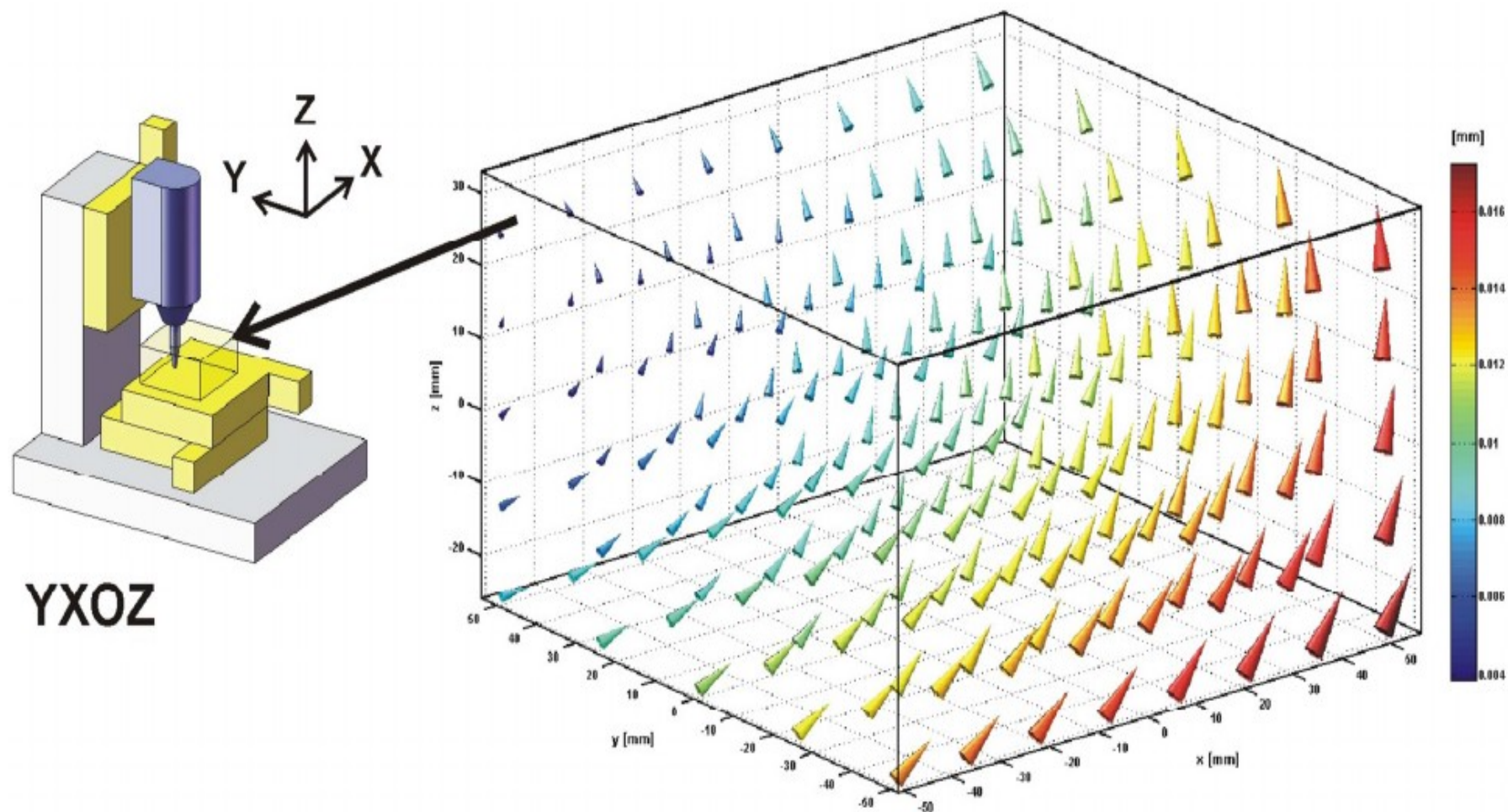


Głównym celem stawianym przed konstruktorami nowoczesnych centrów obróbkowych CNC jest zapewnienie im dużej wydajności przy jednoczesnym

Utrzymaniu wysokiej dokładności obróbki. Cele te realizuje się w dwojaki sposób:

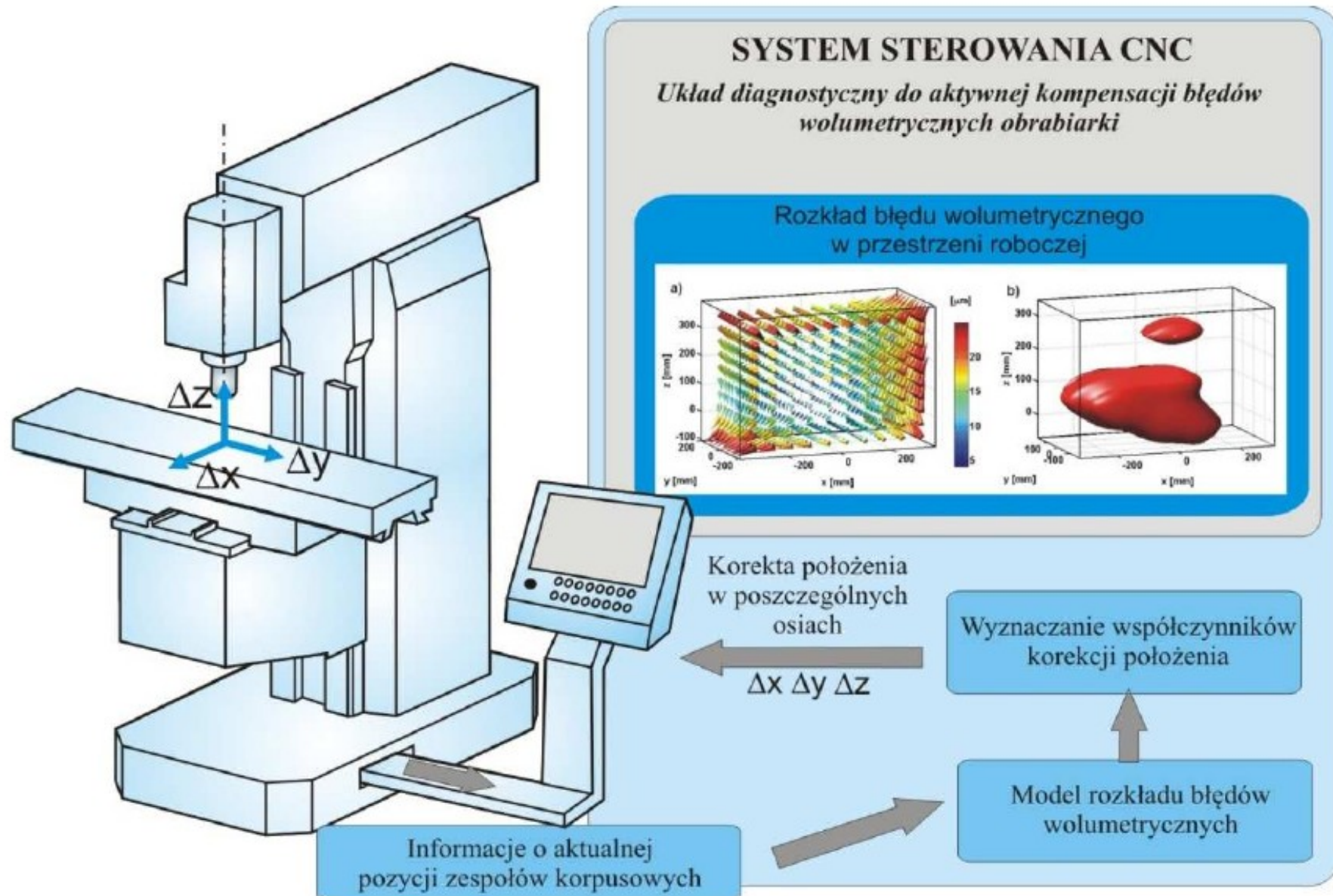
- wprowadzając nowoczesne, innowacyjne rozwiązania konstrukcyjne,
- korygując własności konstrukcji mechanicznej poprzez procedury
- kompensacji elektronicznej zaimplementowane w układzie sterowania
- obrabiarki CNC.







## SCHEMAT IDEOWY UKŁADU DIAGNOSTYCZNEGO DO KOMPENSACJI WOLUMETRYCZNYCH BŁĘDÓW GEOMETRII OBRABIARKI

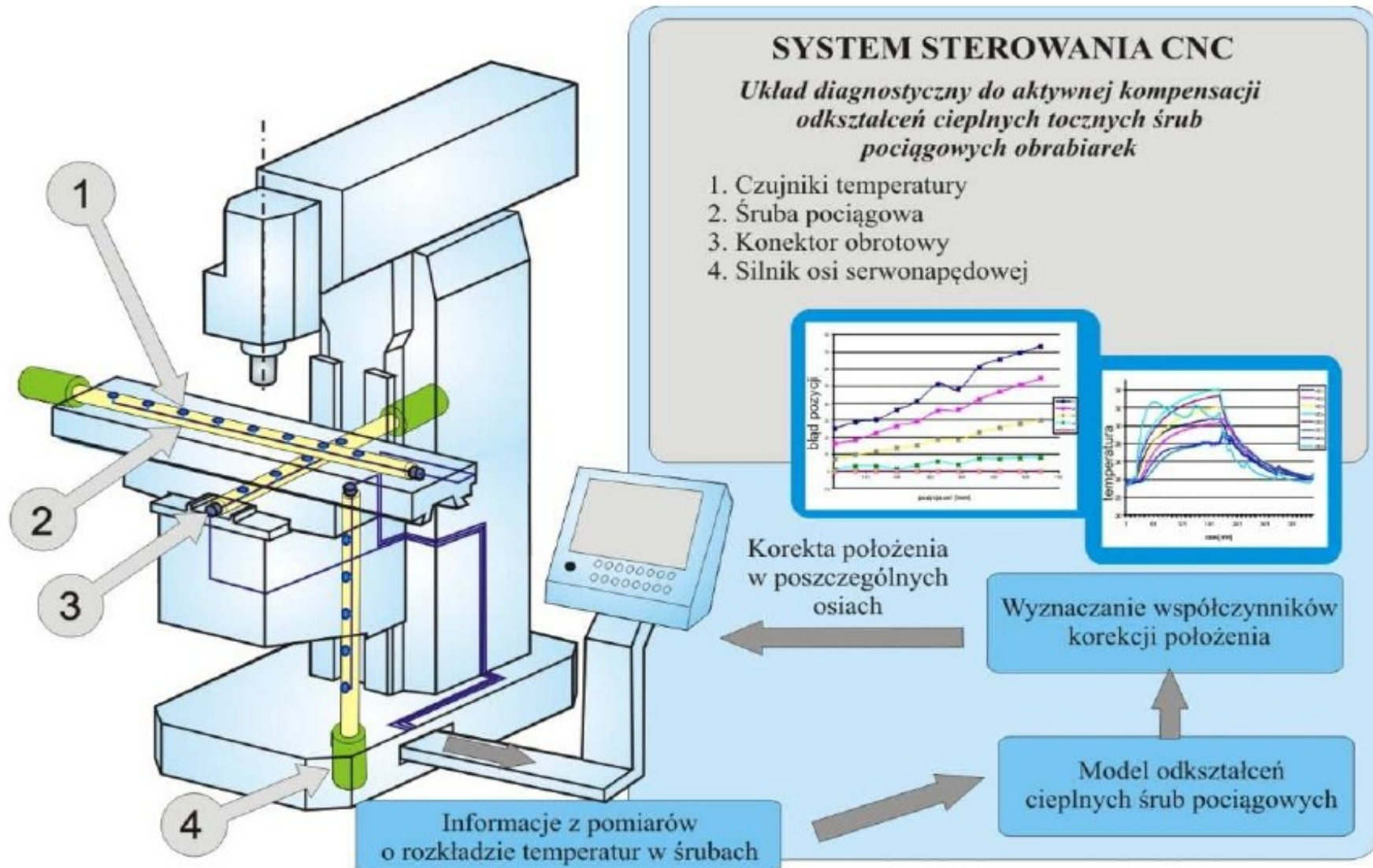




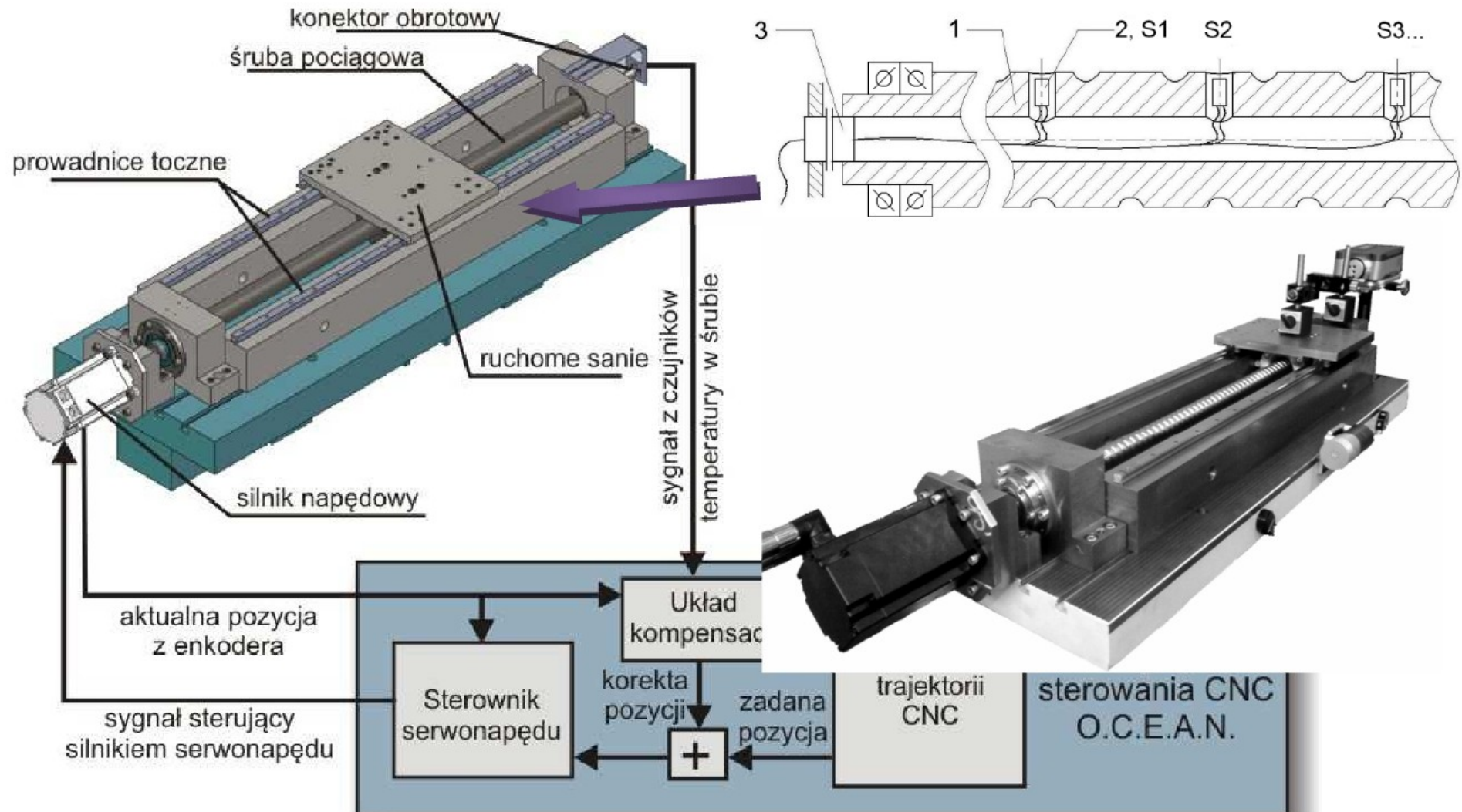
Innym źródłem znacznych błędów obrabiarki są odkształcenia cieplne układu konstrukcyjnego obrabiarki. Zmniejszenie wpływu odkształceń cieplnych zwykle realizuje się poprzez odpowiednie rozwiązania konstrukcyjne, takie jak: termosymetryczna konstrukcja układu korpusowego [113], izolacja strefy obróbki, efektywne usuwanie gorących wiórów ze strefy obróbki, unikanie ich kontaktu z elementami korpusowymi obrabiarki czy efektywne metody chłodzenia. Węzłami konstrukcyjnymi obrabiarek CNC szczególnie wrażliwymi na odkształcenia cieplne są układy wrzecionowe i śruby pociągowe.



## SCHEMAT IDEOWY SYSTEMU DIAGNOSTYCZNEGO DO KOMPENSACJI ODKSZTAŁCEŃ CIEPLNYCH ŚRUB POCIĄGOWYCH OBRABIAREK





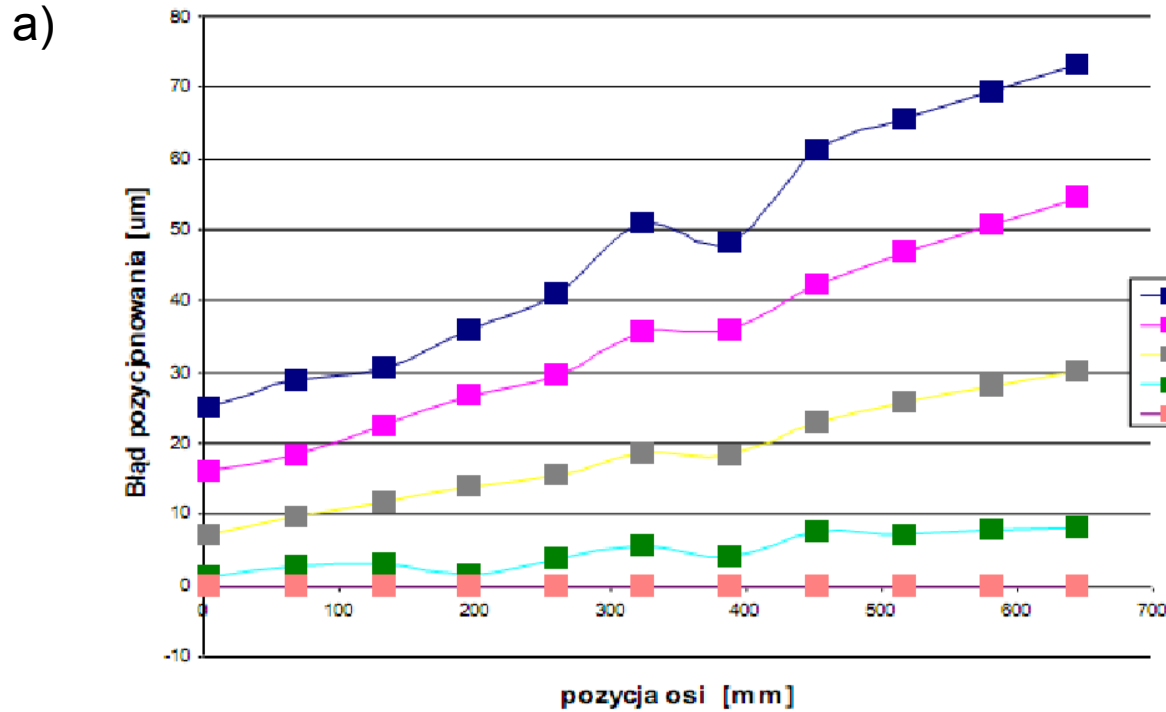


Stanowisko do testowania procedur kompensacji odkształceń cieplnych śruby pociągowej:  
 1 - śruba pociągowa, 2 - czujniki temperatury (S1 - czujnik 1, S2 - czujnik 2),  
 3 - komutator.

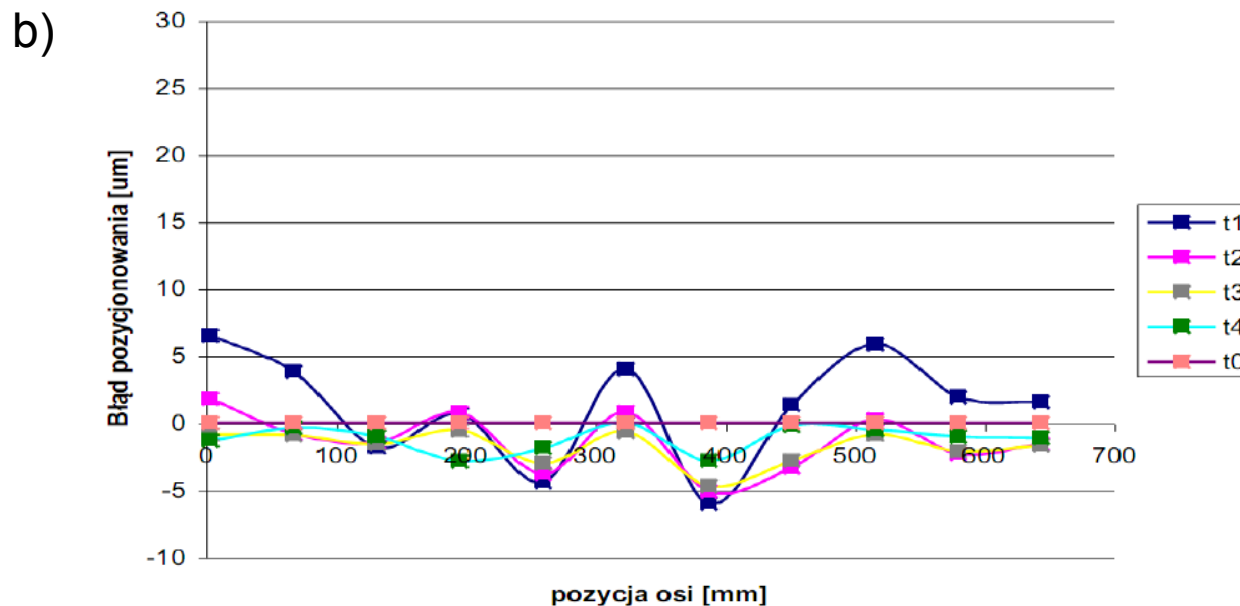


The graph displays the temperature response of eight NTC sensors during a heating and cooling cycle. The y-axis represents temperature in degrees Celsius, ranging from 20 to 34. The x-axis represents time in minutes, ranging from 1 to 400. The sensors are identified in the legend as NTC0 (light blue), NTC1 (dark blue), NTC2 (magenta), NTC3 (yellow), NTC4 (cyan), NTC5 (purple), NTC7 (teal), and NTC8 (blue). NTC0 and NTC4 show the most rapid and highest temperature increase, peaking at approximately 34°C around 200 minutes. NTC5 and NTC3 follow, peaking at approximately 33°C and 32°C respectively. NTC1, NTC2, and NTC8 show intermediate responses, peaking between 30°C and 31°C. NTC7 and NTC8 show the lowest peak temperatures, around 28°C. All sensors exhibit a sharp drop in temperature after 200 minutes, eventually stabilizing around 24°C by 400 minutes.





Zależność pomiędzy błędem pozycjonowania, pozycją stolika a temperaturą śruby: a) z wyłączonym układem kompensacji, b) z działającym układem kompensacji





Kolejnym istotnym problemem w dynamicznym systemie OPN (obrabiarka – proces narzędzie) są drgania, ze szczególnym wyróżnieniem drgań samowzbudnych.

Wystąpienie drgań samowzbudnych w trakcie obróbki drastycznie pogarsza jakość obróbki oraz obniża jej wydajność ze względu na konieczność zmniejszenia parametrów obróbkowych.

Odpowiednio zaprojektowana konstrukcja układu nośnego obrabiarki ogranicza możliwości utraty stabilności podczas skrawania, jednak nie daje całkowitej gwarancji wyeliminowania tego szkodliwego zjawiska.

Najczęściej przyczyną drgań samowzbudnych, mimo wysokiej stabilności samej obrabiarki, są tzw. słabe ogniwa w systemie O-PS, którymi zwykle są mało sztywne, smukłe narzędzia obróbkowe i przedmioty obrabiane o dużej podatności.



Klasyfikacja metod eliminacji drgań samowzbudnych:

- metody bazujące na doborze odpowiednich parametrów skrawania,
- metody polegające na dołączaniu układów dodatkowych w formie eliminatorów drgań.

W pierwszym przypadku algorytm odpowiedniej strategii prędkości obrotowej może być bezpośrednio zaimplementowany w układzie sterowania CNC. Jest to jednak stosunkowo trudne, bo wymaga znajomości rozkładu tzw. krzywych workowych który z kolei zależny jest od dynamicznych własności obrabiarki oraz realizowanego wariantu skrawania.

Stosowane są również techniki zmiennej prędkości obrotowej, które zakłócają proces rozwoju drgań samowzbudnych i podwyższają wibrostanowalność systemu.

Jednak i w tym przypadku parametry regulatorów sterujących procesem zależne są od wariantu realizowanej obróbki.



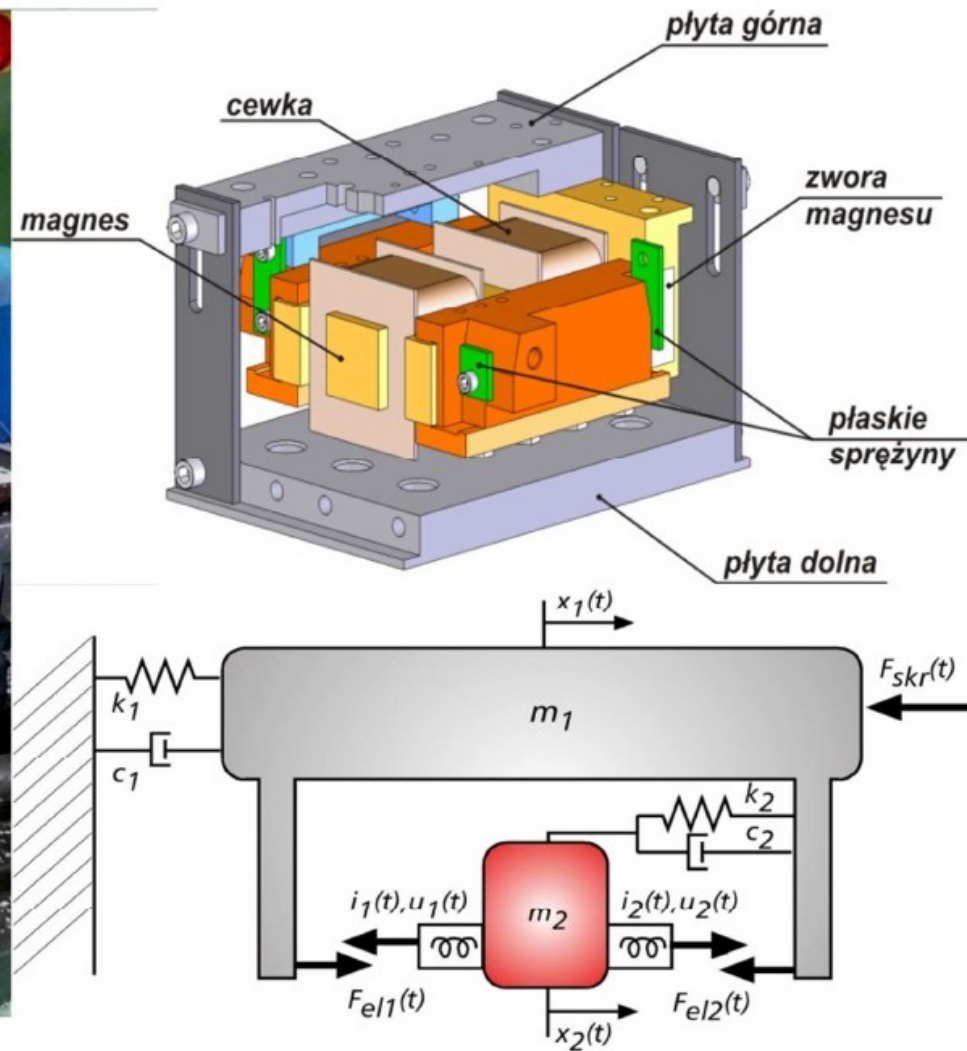
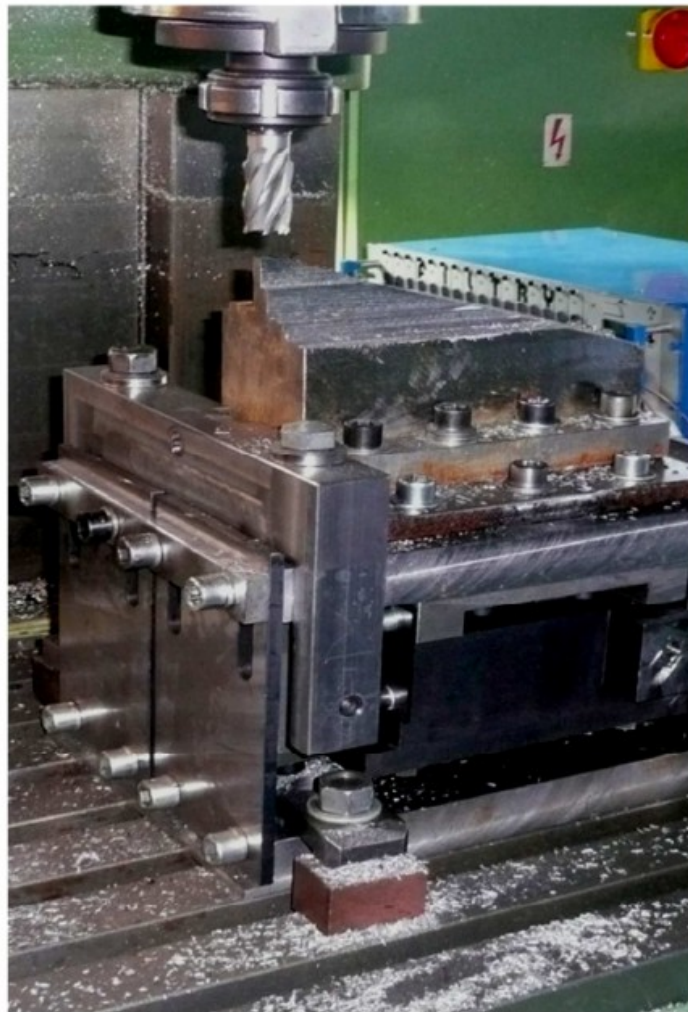
Dobre wyniki przeciwdziałania procesowi rozwoju drgań samowzbudnych uzyskuje się poprzez zastosowanie aktywnych eliminatorów drgań.

Prowadzone są liczne badania nad rozwojem konstrukcji eliminatorów do aktywnej eliminacji drgań w procesie skrawania istnieją nawet gotowe rozwiązania handlowe tego typu urządzeń, jak np. eliminator drgań firmy System 3R.

Do konstrukcji aktywnych eliminatorów drgań często stosowane są materiały zaliczane do grupy materiałów inteligentnych takie jak:

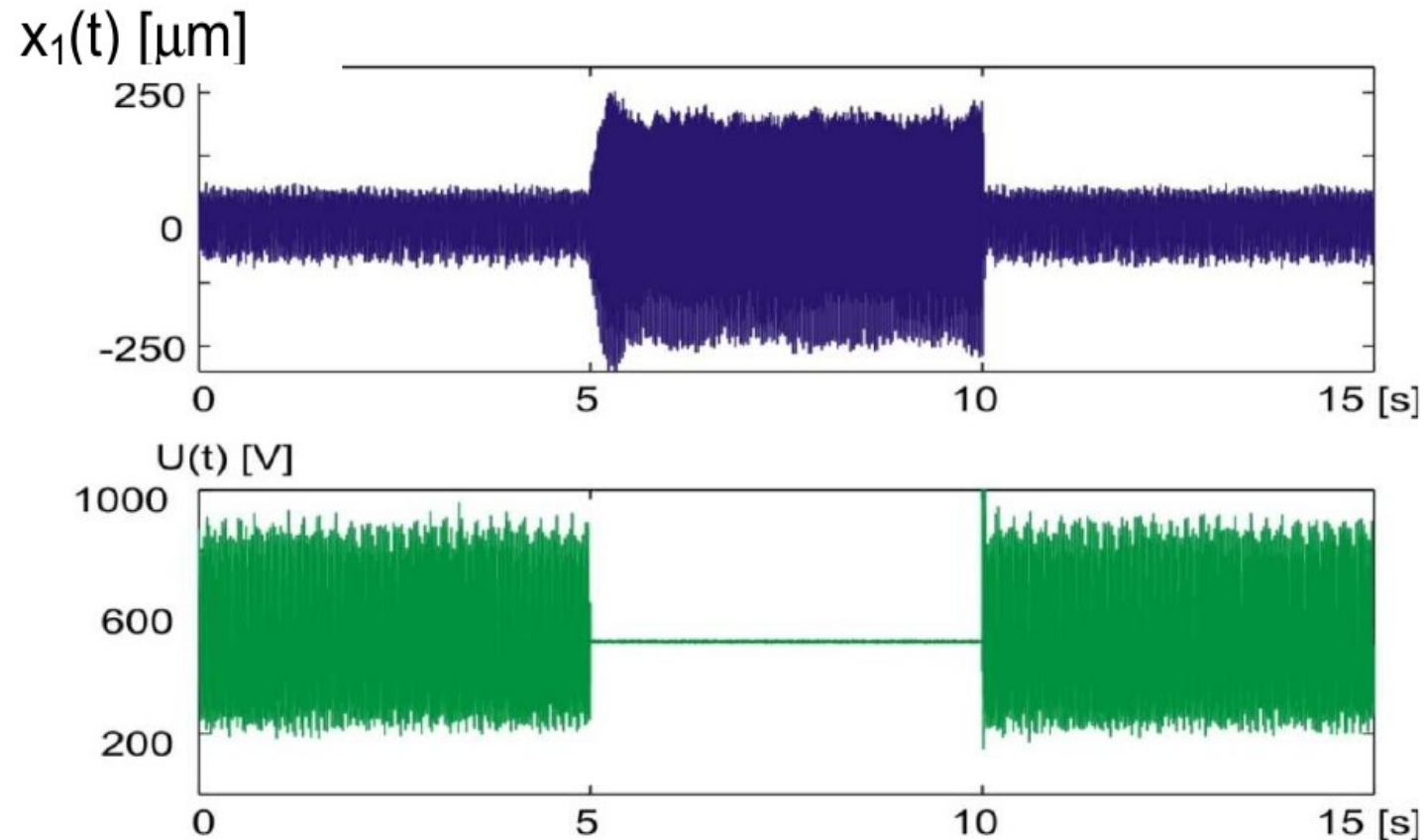
- materiały piezoelektryczne,
- materiały z pamięcią kształtu.





Magnetoelektryczny eliminator drgań: fotografia, projekt konstrukcyjny, model fizyczny

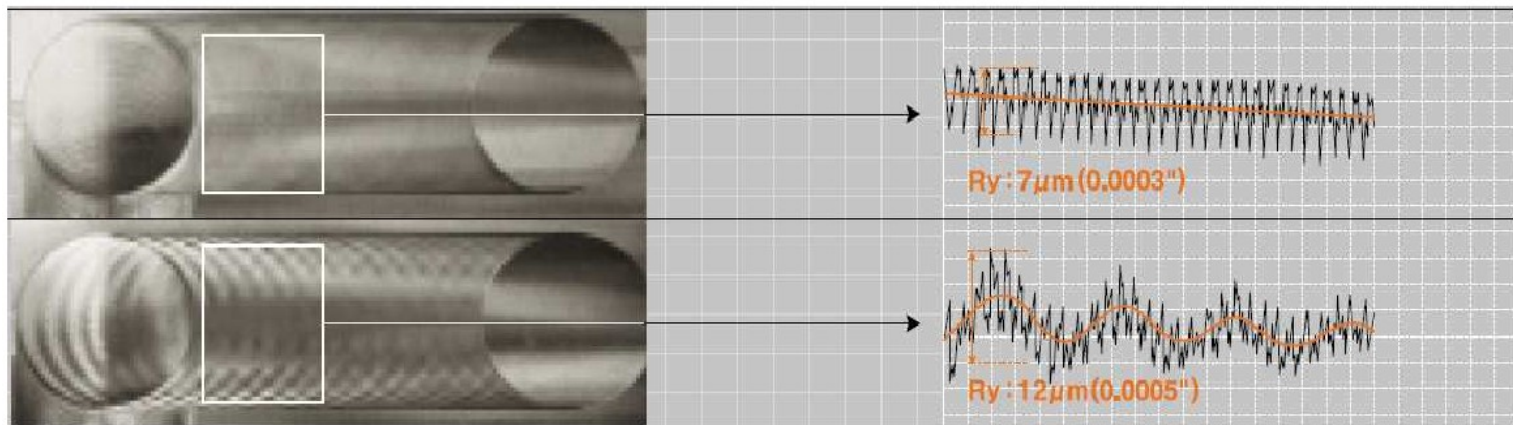




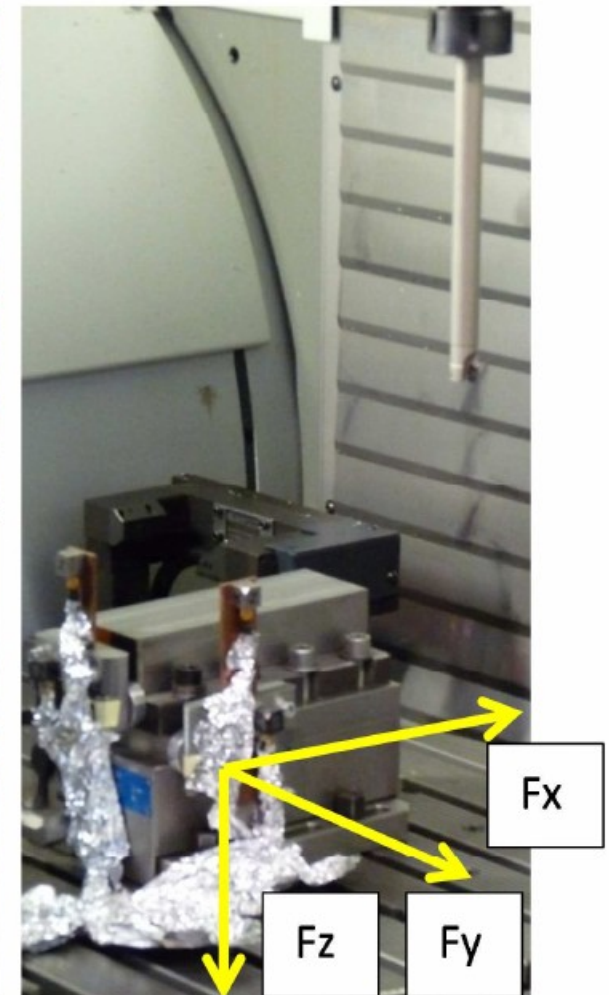
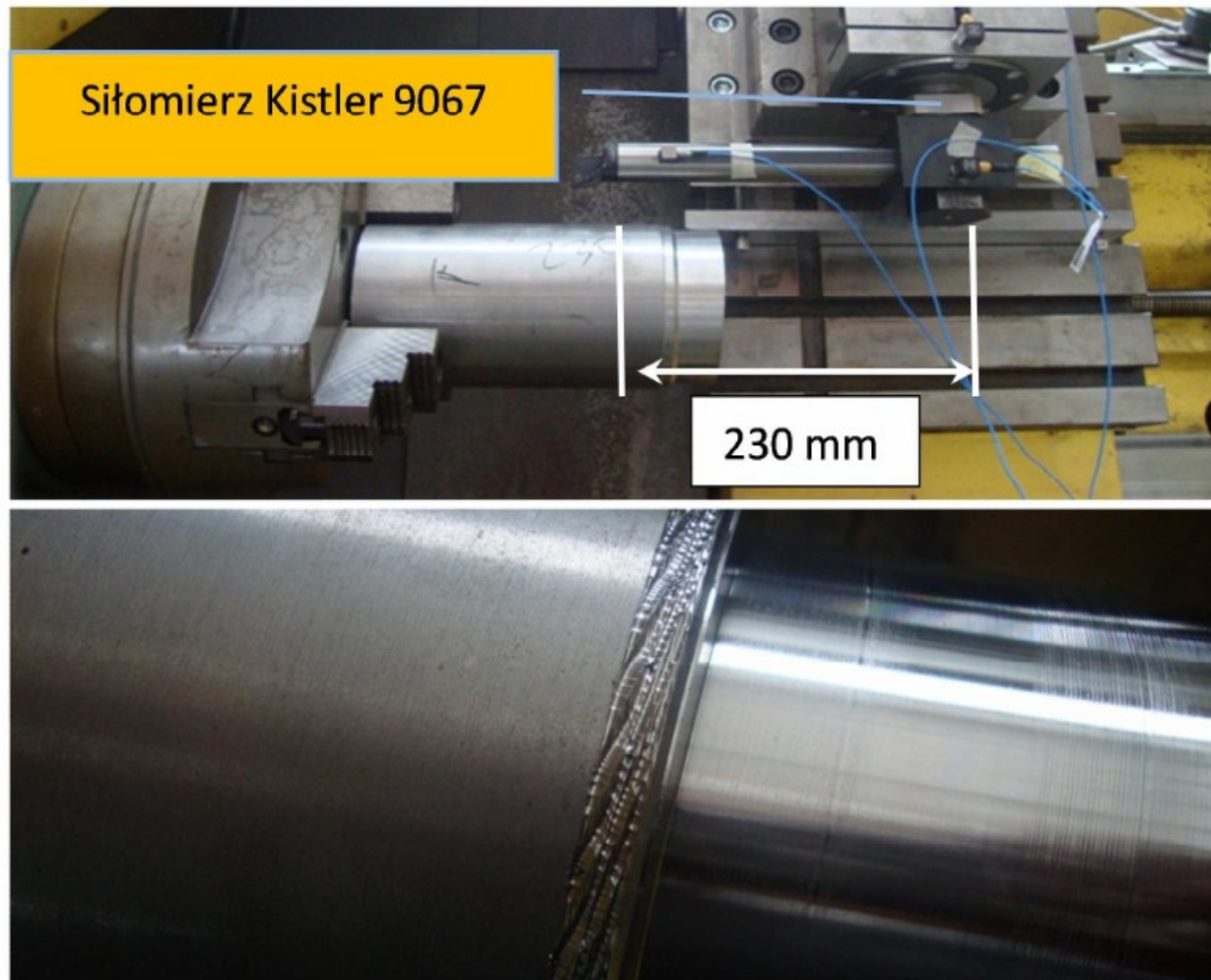
Wyniki skuteczności działania piezoelektrycznego eliminatora drgań w trakcie obróbki (głębokość skrawania  $a_p=2$  mm, posuw  $f_z=0.7$  mm/ostrze, prędkość obrotowa  $n=280$  obr/min) kolejno: z włączonym, wyłączonym i ponownie włączonym eliminatorem drgań.



## Efekty działania systemu AVC firmy MAZAK

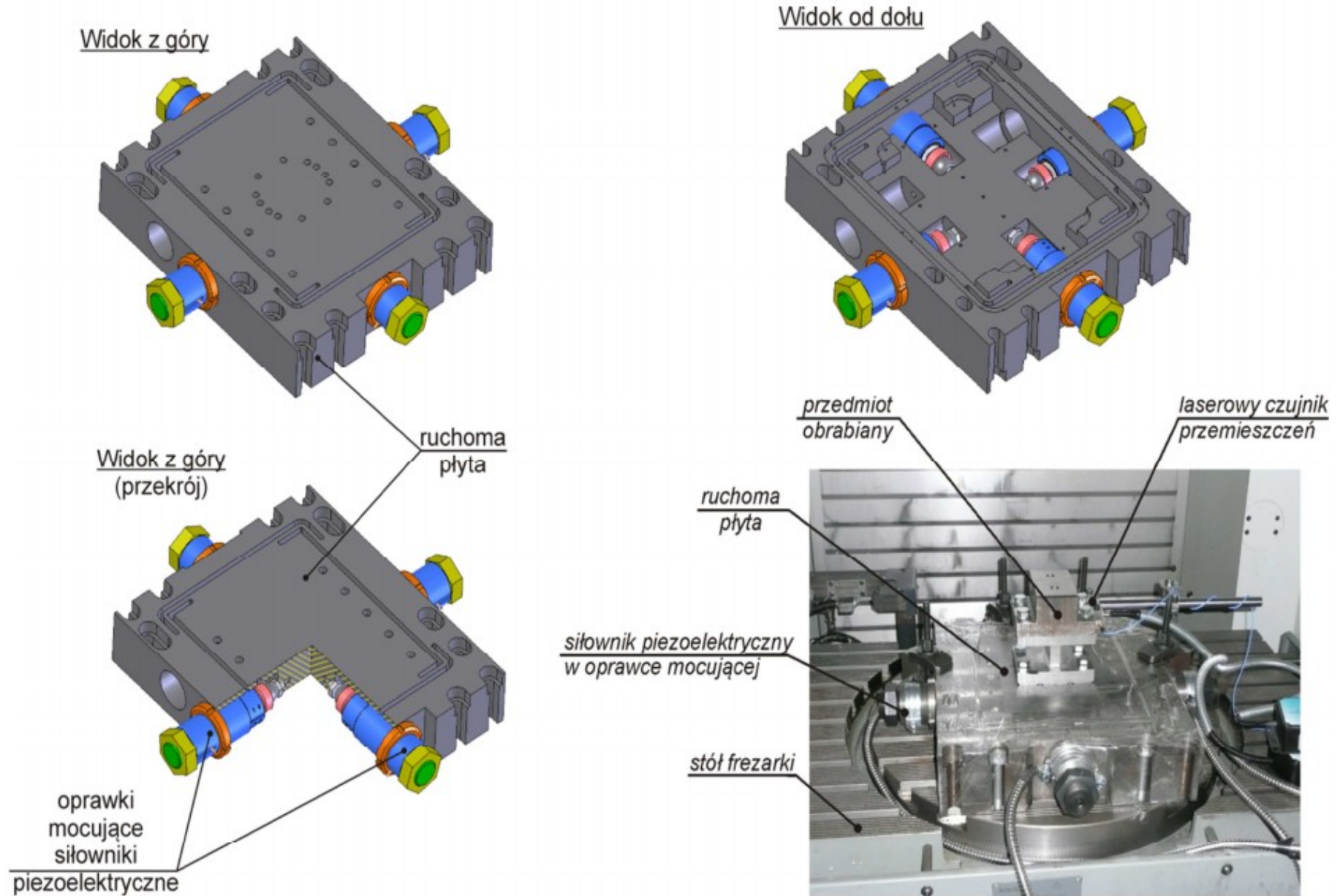






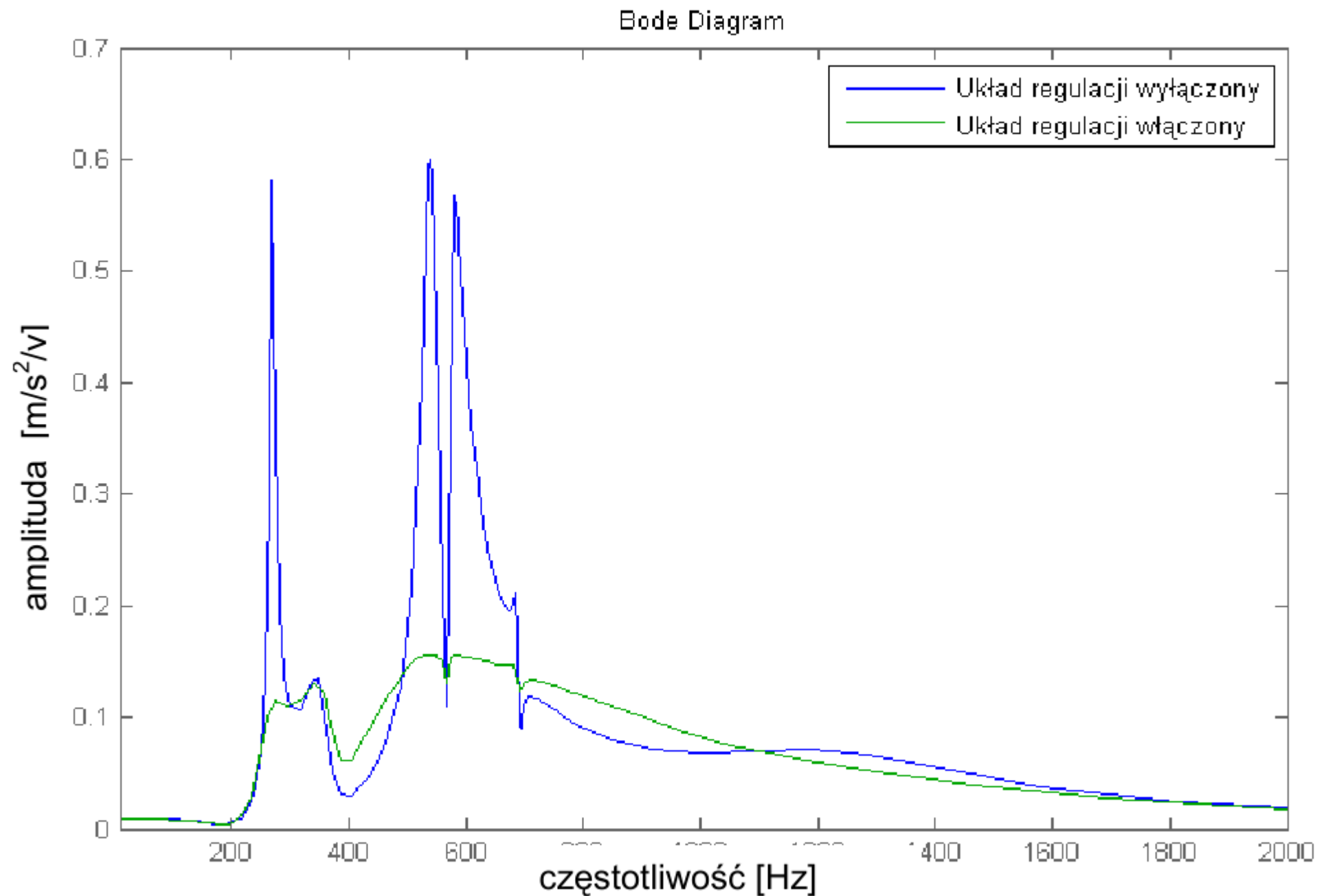
Fotografie stanowisk: do badań podatnych narzędzi tokarskich i frezerskich z aktywnymi eliminatorami drgań oraz fotografia fragmentu powierzchni toczonej z wyłączonym eliminatorem.



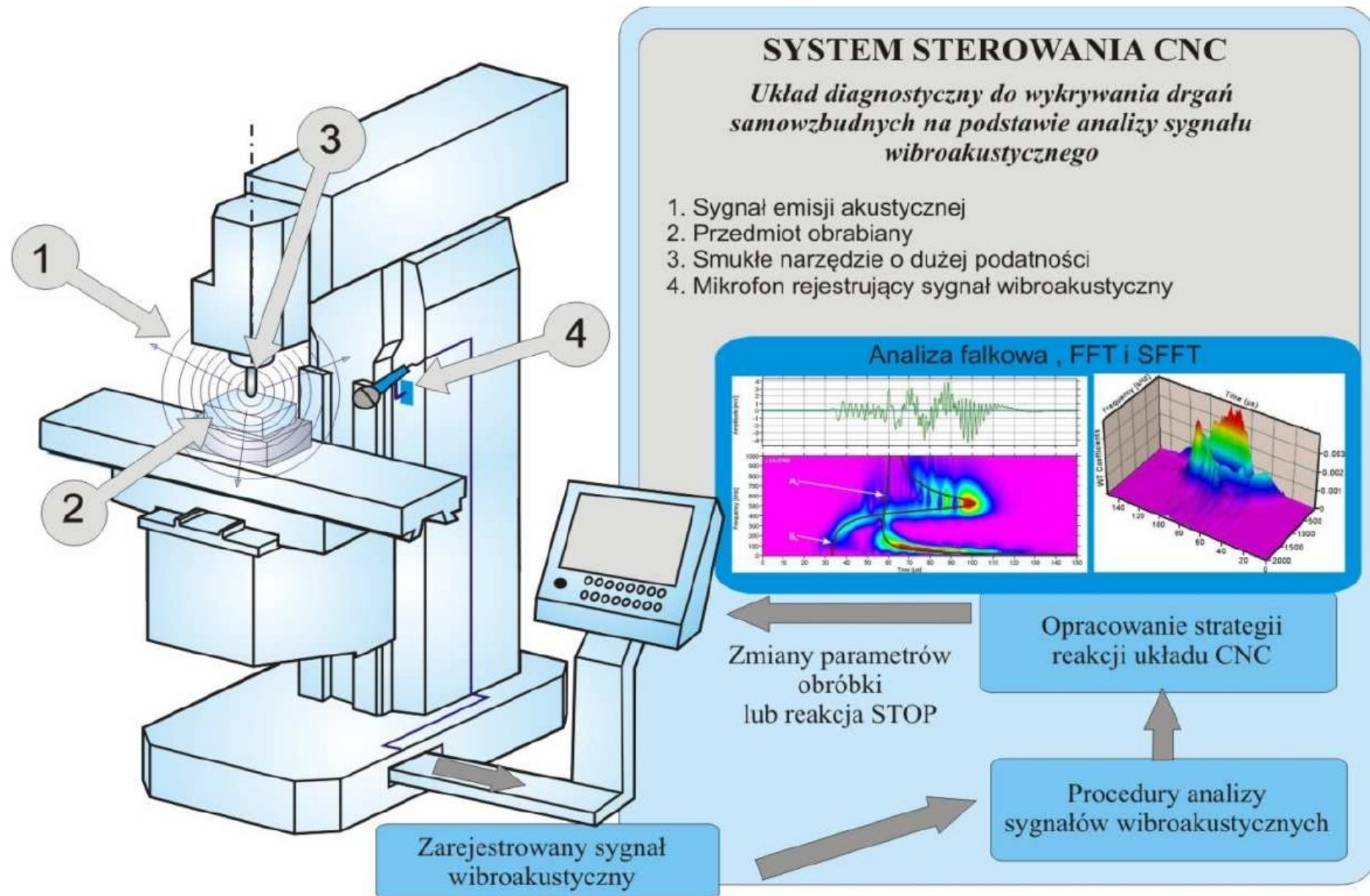


Projekt aktywnej płyty mocującej oraz fotografia stanowiska badawczego





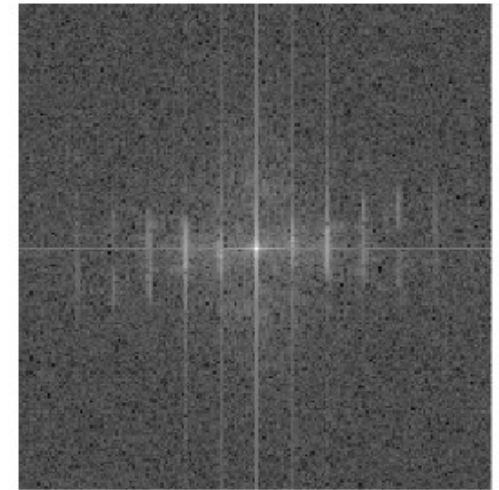
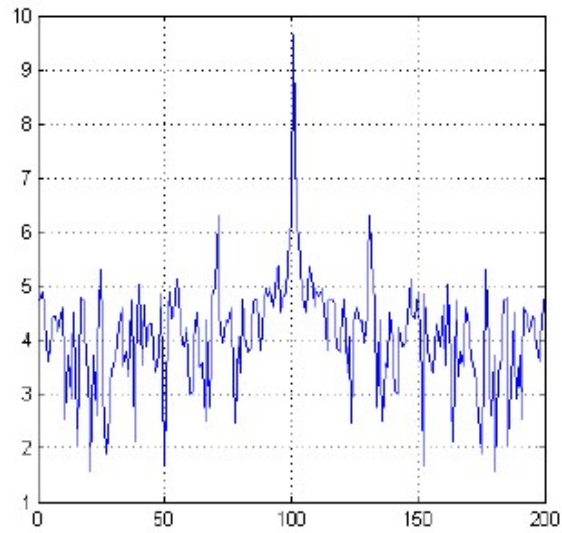
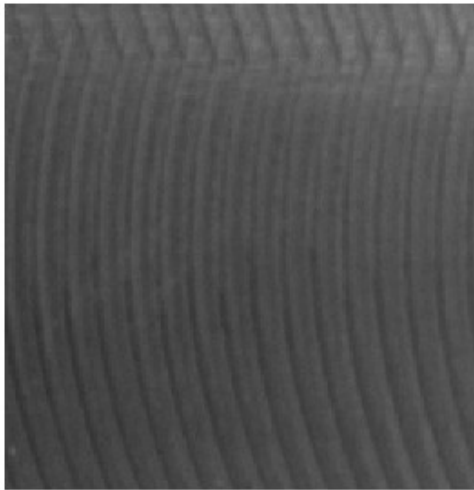




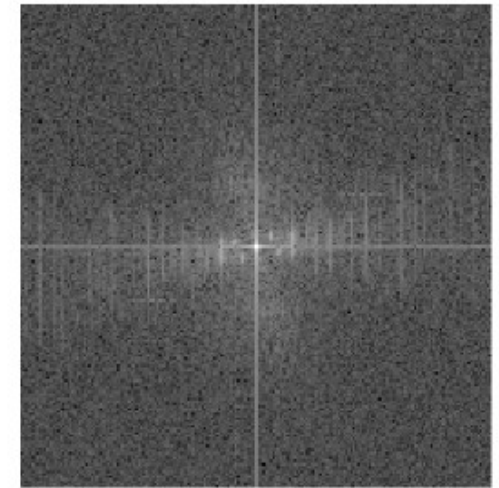
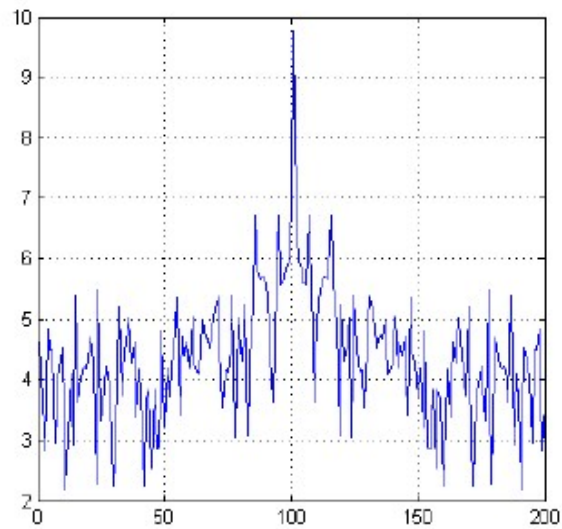
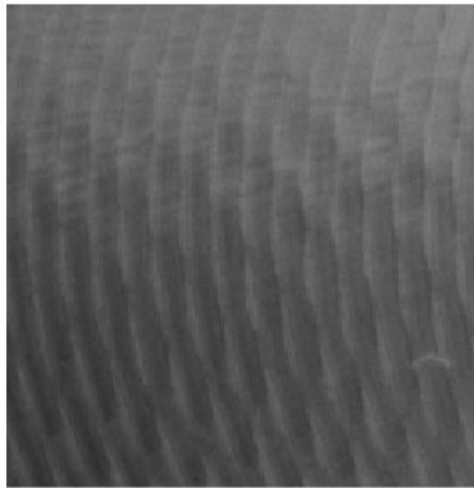
Schemat ideowy układu diagnostycznego do wykrywania drgań samowzbudnych z zastosowaniem sygnałów wibroakustycznych.



a)

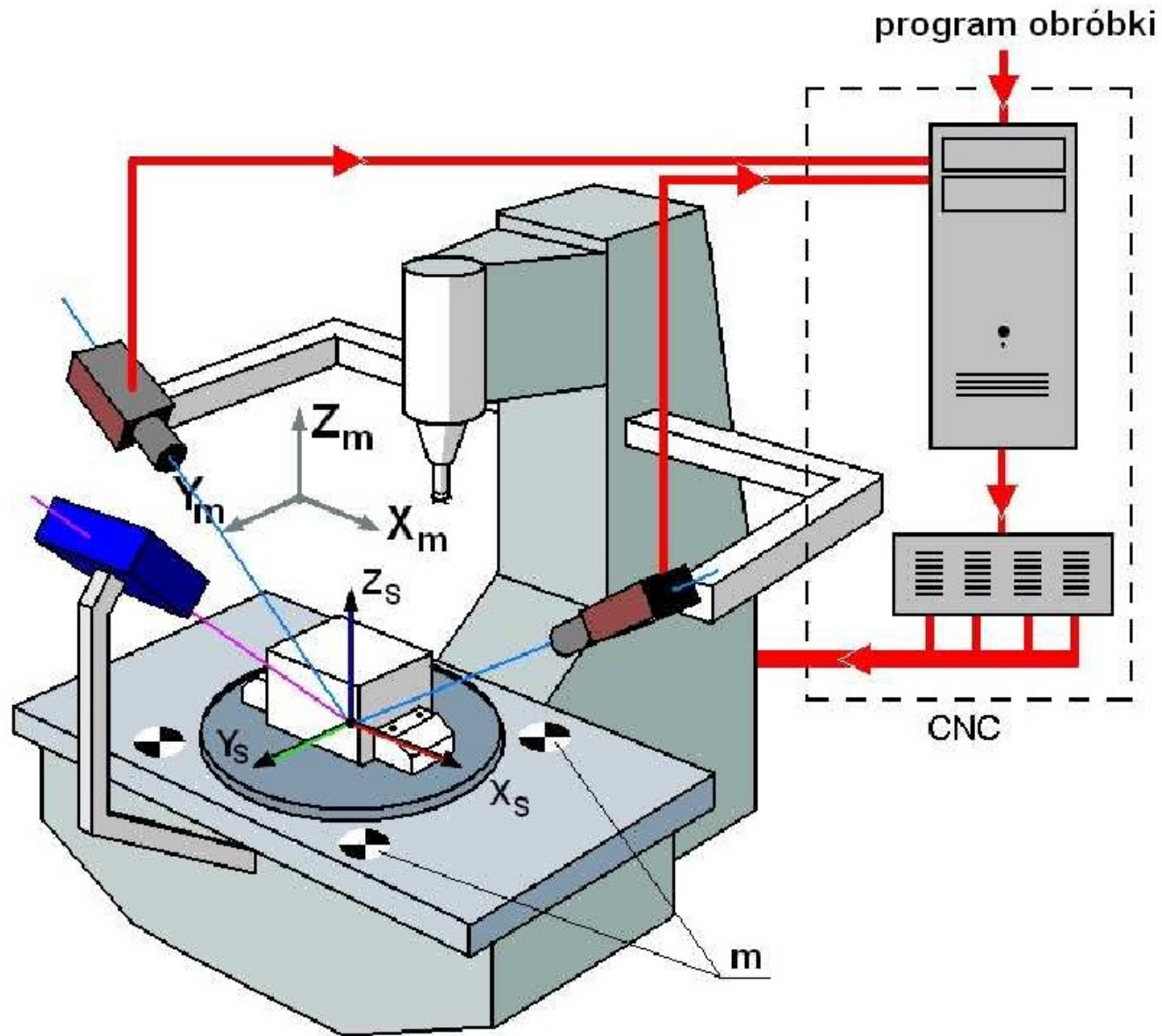


b)



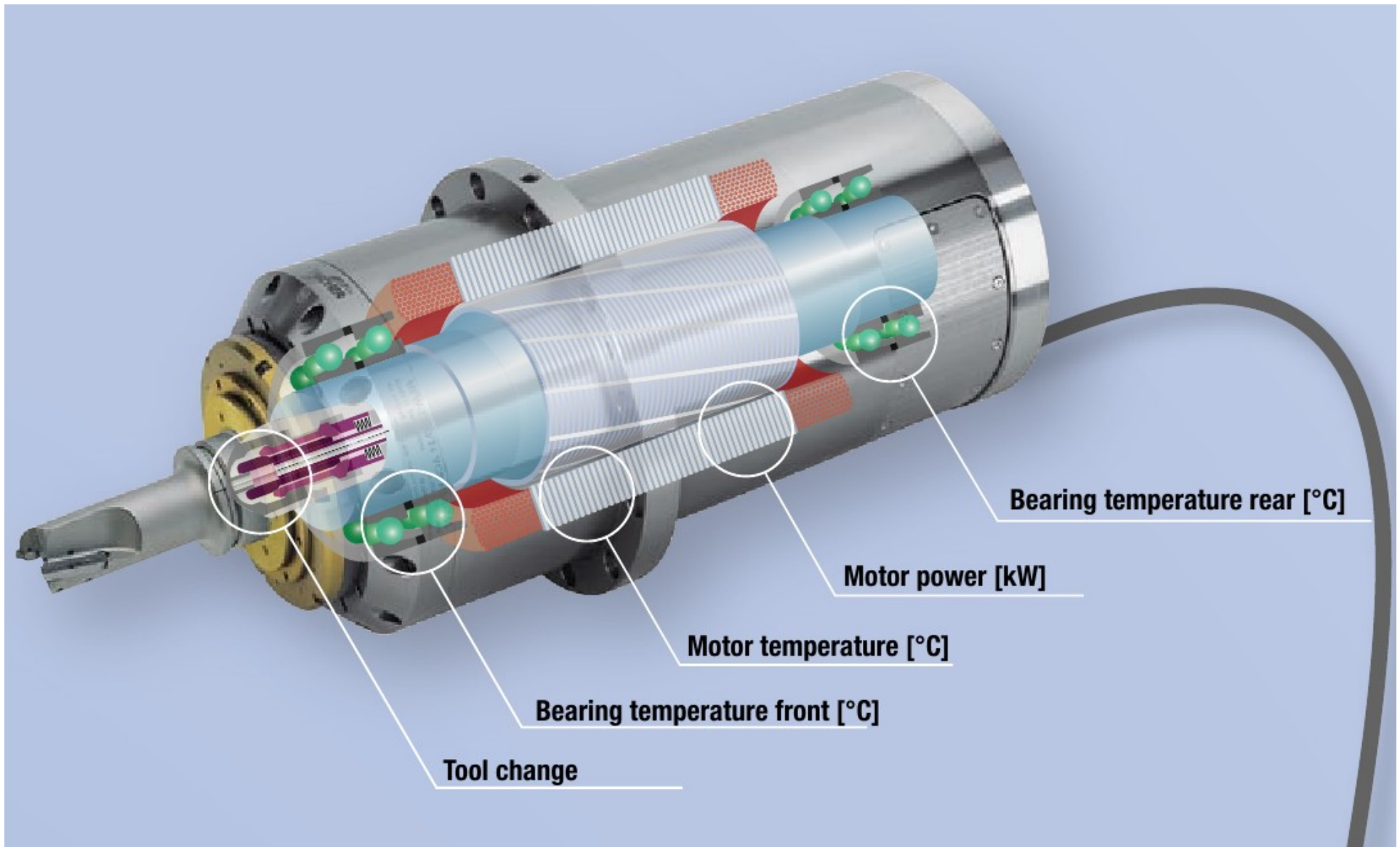
Wyniki analizy widmowej obrazu powierzchni obrobionej frezowaniem:  
a) brak drgań samowzbudnych,  
b) wystąpiły drgania samowzbudne.





Schemat ideowy systemu do skanowania geometrii i położenia przedmiotu obrabianego na obrabiarce CNC







## Spindle data

Article number 100478  
 Spindle type MFW 1224/42  
 Spindle number 146677  
 Motor data sheet no. DDL 180602  
 Voltage 320 V  
 No-load current  $I_0$  66 A  
 Rated current 183 A  
 n field weakening 10000 rpm  
 n max. 23000 rpm

5.57

Path

## Motor data

Number of poles 4

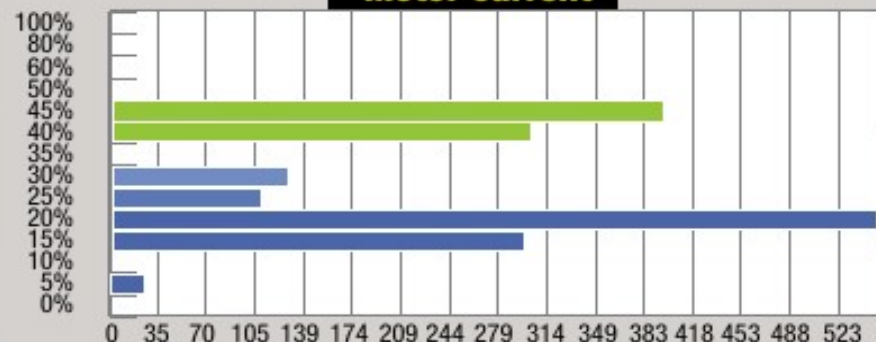
## Outputs

Release position (rel.) 9.62 mm 1.28 mm<sub>min</sub>  
 Tool clamped 2.66 mm 1.85 mm<sub>max</sub> 0.12 mm<sub>min</sub>  
 Clamped without tool 0.75 mm 1.00 mm<sub>max</sub>  
 Alarm speed 23000 N 30000 N<sub>max</sub> 0 N<sub>min</sub>  
 Alarm current 170 A 200 A<sub>max</sub> 0 A<sub>min</sub>  
 Alarm temp. bearing 1 60 °C 70 °C<sub>max</sub> 0 °C<sub>min</sub>  
 Alarm temp. bearing 2 60 °C 70 °C<sub>max</sub> 0 °C<sub>min</sub>  
 Alarm temp. bearing 3 55 °C 70 °C<sub>max</sub> 0 °C<sub>min</sub>  
 Alarm temp. bearing 4 55 °C 70 °C<sub>max</sub> 0 °C<sub>min</sub>  
 Alarm internal temp. 50 °C 80 °C<sub>max</sub> 0 °C<sub>min</sub>

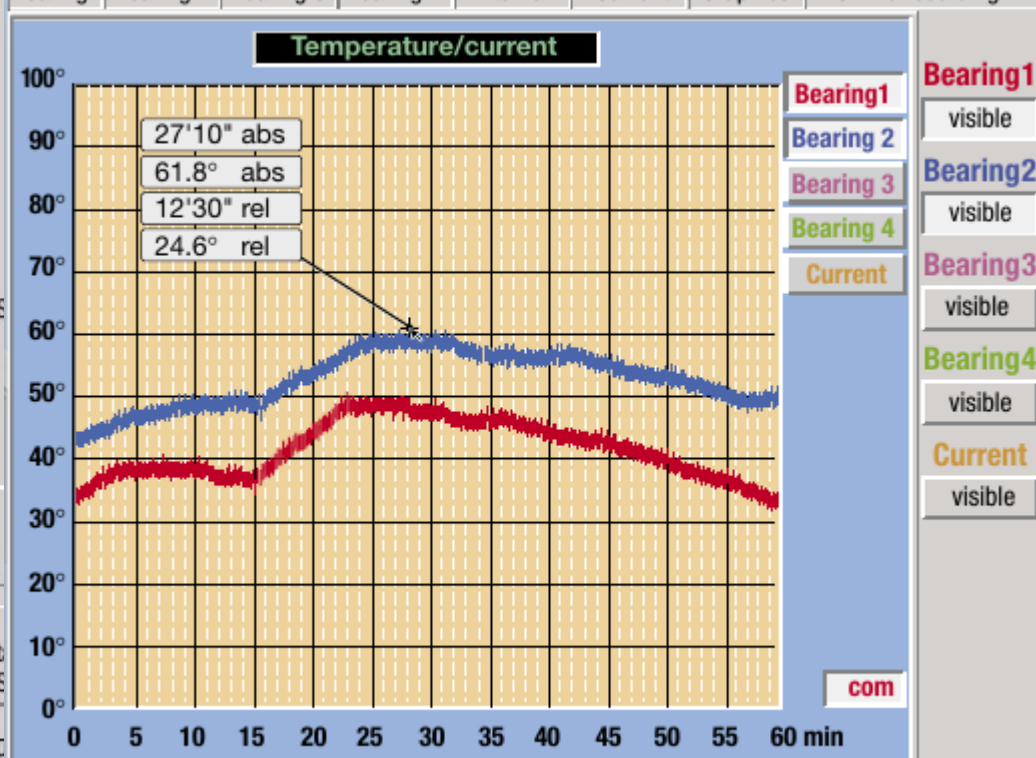
Bearing1 Bearing 2 Bearing 3 Bearing 4 Current Graphics Online recording

	0%	15%	30%	45%	60%	75%	90%	100%
100%	0	0	0	0	0	0	0	0
80%	0	0	0	0	0	0	0	0
60%	0	0	0	0	0	0	0	0
50%	10	1	1	0	0	0	0	0
45%	5	3891	747	0	0	0	0	0
40%	1	2876	1190	4	0	0	0	0
35%	0	1	2	6	2	0	1	5
30%	0	0	2	1269	1	9	12	5
25%	0	8	8	1050	854	6	2	3
20%	1	9	1531	888	2565	6977	302	182
15%	2	0	5	597	2	431	69	2656
10%	3	0	0	0	0	0	0	0
5%	222	31	17	0	0	0	0	0
0%	0	0	0	0	0	0	0	0

## Motor current



Bearing1 Bearing 2 Bearing 3 Bearing 4 Internal Current Graphics Online recording





# SKF Vibration Pen<sup>plus</sup>

CMVP 40, english system (in/s; equivalent Peak)/  
CMVP 50, metric system (mm/s; RMS)



ISO 10816-3		Machinery Groups 2 and 4		Machinery Groups 1 and 3	
Velocity		Rated power			
CMVP 40 in/sec eq. Peak	CMVP 50 mm/sec RMS	15 kW – 300 kW		Group 1: 300 kW – 50 MW Group 3: Above 15 kW	
0.61	11.0		DAMAGE OCCURS		
0.39	7.1				
0.25	4.5		RESTRICTED OPERATION		
0.19	3.5		UNRESTRICTED OPERATION		
0.16	2.8				
0.13	2.3				
0.08	1.4		NEWLY COMMISSIONED MACHINERY		
0.04	0.7				
0.00	0.0				
Foundation		Rigid	Flexible	Rigid	Flexible



KONIEC