

# PROBLEMY NIEKONWENCJONALNYCH UKŁADÓW ŁOŻYSKOWYCH

Łódź 09-10 maja 1995 roku

Ryszard Wolny  
(*Politechnika Częstochowska*)

## ROZDZIAŁ PARAMETRÓW KONSTRUKCYJNYCH ZESPOŁU WRZECIONOWEGO OBRABIARKI

### SŁOWA KLUCZOWE

obrabiarka, tokarka, zespół wrzecionowy, parametr konstrukcyjny, rozdział parametrów, metody statystyczne, sztywność łożyska

### STRESZCZENIE

Przedstawiono problem rozdziału parametrów konstrukcyjnych zespołu wrzecionowego obrabiarki. Opracowano metodę obliczeniową pozwalającą na określenie istotności parametrów konstrukcyjnych dowolnego wariantu zespołu wrzecionowego obrabiarki. Do rozdziału parametrów konstrukcyjnych wykorzystano metody statystyczne stosowane w badaniach doświadczalnych. Dokonano analizy istotności parametrów konstrukcyjnych dla modelu zespołu wrzecionowego tokarki.

### WPROWADZENIE

Aktualny stan technik obliczeniowych pozwala, w wielu wypadkach, na wyznaczenie wielkości opisujących własności i właściwości układu już w fazie jego projektowania. Umożliwia to włączenie ich oceny do systemów komputerowo wspartego projektowania zespołów wrzecionowych obrabiarek, w tym również i łożysk. W zależności od wyniku takiej oceny może wystąpić konieczność modyfikacji układu lub może być podjęta jego optymalizacja. W każdym z powyższych przypadków zachodzi potrzeba wyodrębnienia ze zbioru wybranych parametrów konstrukcyjnych opisujących strukturę i stan układu pewnego, możliwie ograniczonego, podzbioru tych parametrów, które najsilniej wpływają na wartości wskaźników oceny (lub funkcję celu), a tym samym mogą być parametrami decyzyjnymi w procesach modyfikacji lub optymalizacji.

Opracowano metodę obliczeniową pozwalającą na wydzielenie zmiennych decyzyjnych spośród parametrów konstrukcyjnych dowolnego wariantu zespołu wrzecionowego obrabiarki [1]. Rozdziału parametrów konstrukcyjnych zespołu wrzecionowego (ZW) dokonano na przykładzie rozwiązania konstrukcyjnego tokarki kłowouchwytowej średniej wielkości.

## ROZDZIAŁ PARAMETRÓW KONSTRUKCYJNYCH ZESPOŁU WRZECIONOWEGO

Do rozdziału parametrów konstrukcyjnych ZW wykorzystano metody statystyczne stosowane dotychczas w badaniach eksperymentalnych.

Zbiór danych doświadczalnych zastąpiono zbiorem składającym się z parametrów konstrukcyjnych, wygenerowanych z zastosowaniem generatora liczb pseudolosowych, oraz wyników obliczeń przeprowadzonych dla przypadków kojarzenia tych parametrów.

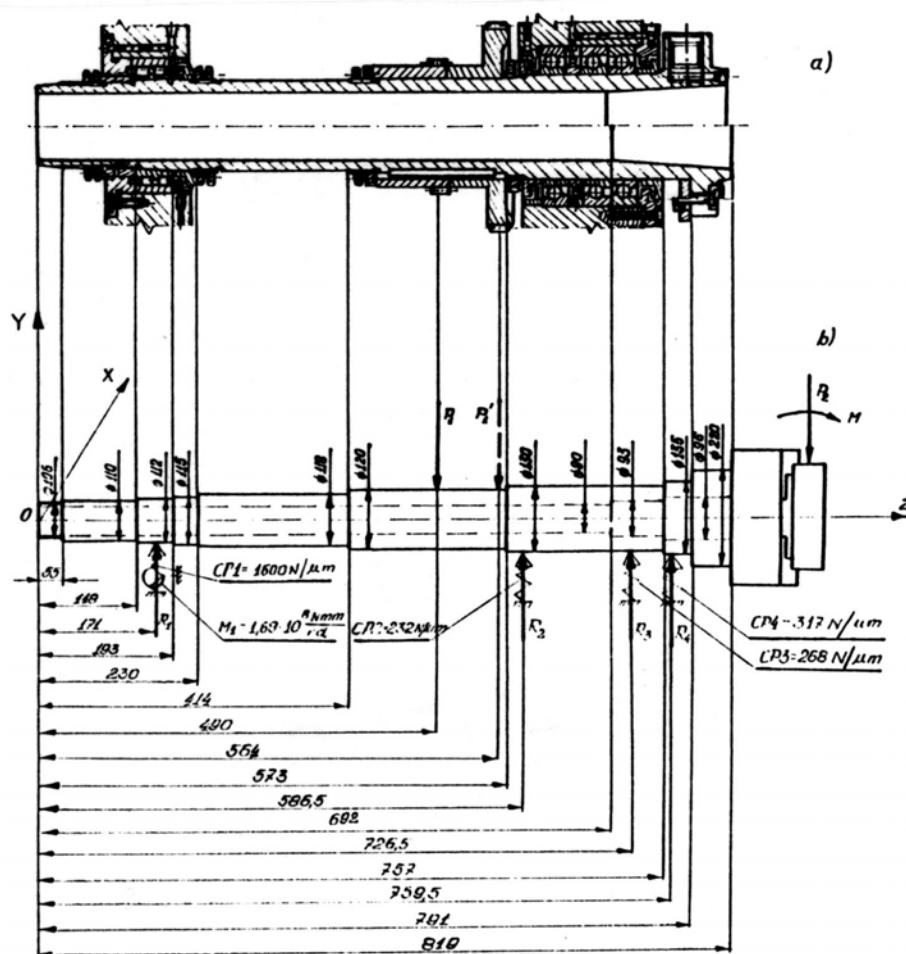
Dla istniejącego rozwiązania konstrukcyjnego ZW ustalono wyjściowy zbiór parametrów konstrukcyjnych oraz określono przedziały dopuszczalnych wartości poszczególnych parametrów.

Przy ustalonych przedziałach zmienności parametrów konstrukcyjnych wygenerowano ich wartości z zastosowaniem generatora liczb pseudolosowych.

Dla wygenerowanych wartości parametrów obliczono składowe i wypadkowe przemieszczenia statyczne ZW zgodnie z metodyką obliczeniową [2].

Wygenerowane wartości parametrów oraz obliczone wartości przemieszczeń ZW tworzyły zbiór danych wejściowych metody rozdziału parametrów konstrukcyjnych [1]. Rozdziału parametrów konstrukcyjnych ZW dokonano na przykładzie tokarki średniej wielkości.

Na podstawie istniejącego rozwiązania konstrukcyjnego (rys. 1.a) opracowano układ zastępczy ZW (rys. 1.b).



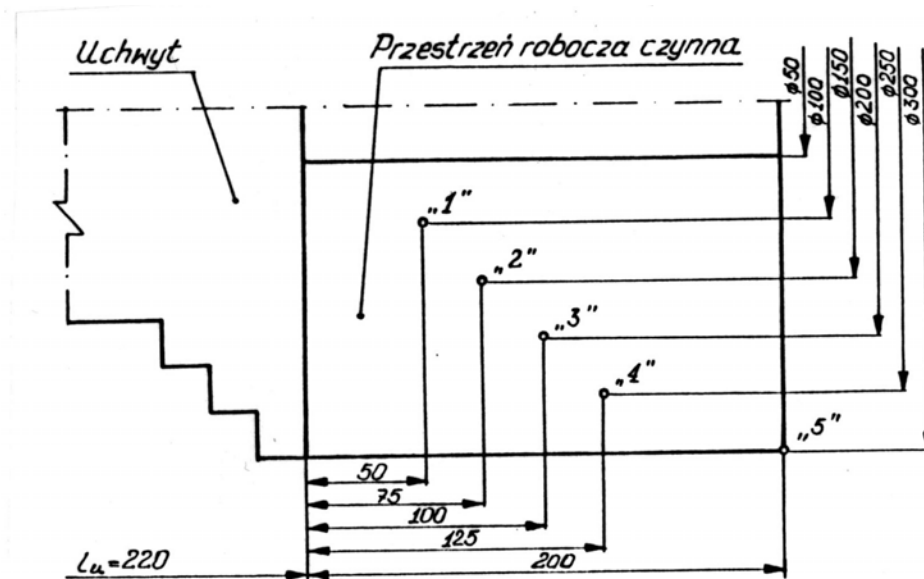
Rys. 1. Zespół wrzecionowy tokarki a) konstrukcja układu rzeczywistego b) model zastępczy

Przyjęto, że przedmiot obrabiany jest mocowany w uchwycie samocentrującym, odpowiadającym rozmiarowi końcówki wrzeciona, bez podparcia kłem. Założono, że stosunek długości  $L$  przedmiotu obrabianego do średnicy  $D$  nie przekracza 3 ( $L/D < 3$ ).

W modelu obliczeniowym **ZW** pominięto podatność przedmiotu obrabianego, uchwytu i narzędzia, podatność połączenia przedmiotu obrabianego z uchwycem i podatność połączenia uchwytu z wrzecionem oraz podatność połączenia narzędzia z suportem [3].

Analizę obliczeniową przeprowadzono dla pięciu różnych położeni sił skrawania w czynnej przestrzeni roboczej tokarki (rys. 2), która została oddzielona od końcówki zespołu wrzecionowego o długość uchwytu  $l_u = 220$  mm.

Na podstawie modelu zastępczego **ZW** tokarki (rys. 1.b) zbudowano model uproszczony (rys. 3), który przyjęto za podstawę dalszych rozważań.



Rys. 2. Współrzędne punktów położenia sił skrawania w czynnej przestrzeni roboczej

W wyniku dokonanej analizy istniejącego rozwiązania konstrukcyjnego ZW, z punktu widzenia możliwości dokonania zmian, ustalono wyjściowy zbiór dziesięciu parametrów konstrukcyjnych (rys. 3):

DZW 1 - uśredniona średnica zewnętrzna wrzeciona na odcinku międzypodporowym w  $\mu\text{m}$ ,

ZK02 - współrzędna „z” końca odcinka drugiego ZW, będąca miarą długości przedniej końcówki wrzeciona w mm,

DZW2 - uśredniona średnica zewnętrzna wrzeciona na długości przedniej końcówki w mm,

ZP1 - współrzędna „z” podpory tylnej, będąca miarą długości odcinka międzypodporowego w mm,

CP1 - sztywność poprzeczna łożyska tylnej podpory w  $\text{N}/\mu\text{m}$ ,

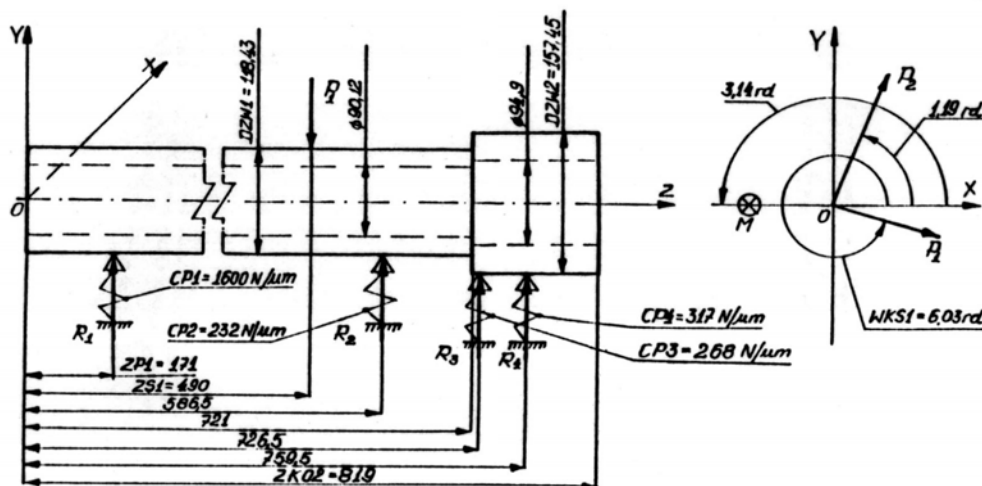
CP2 - sztywność poprzeczna trzeciego łożyska przedniej podpory w  $\text{N}/\mu\text{m}$ ,

CP3 - sztywność poprzeczna drugiego łożyska przedniej podpory w  $\text{N}/\mu\text{m}$ ,

CP4 - sztywność poprzeczna pierwszego łożyska przedniej podpory w  $\text{N}/\mu\text{m}$ ,

ZS1 - współrzędna „z” położenia siły międzyzębnej od napędu na długości odcinka międzypodporowego w mm,

WKS1 - współrzędna kątowa położenia wypadkowej siły od napędu, mierzona w płaszczyźnie XOY układu odniesienia w rd.



Rys. 3. Model uproszczony zespołu wrzecionowego

Uwzględniając ograniczenia konstrukcyjne istniejącego rozwiązania ZW tokarki, określono przedziały zmienności parametrów dla analizowanego przypadku modelu uproszczonego (rys. 3):

$100 \leq DZW1 \leq 150$	krokiem co 1 mm,
$794 \leq ZK02 \leq 844$	krokiem co 1 mm,
$150 \leq DZW2 \leq 225$	krokiem co 1 mm,
$171 \leq ZP1 \leq 321$	krokiem co 1 mm,
$500 \leq CP1 \leq 2000$	krokiem co 150 N/μm,
$200 \leq CP2 \leq 1000$	krokiem co 50 N/μm,
$200 \leq CP3 \leq 1000$	krokiem co 50 N/μm,
$200 \leq CP4 \leq 1000$	krokiem co 50 N/μm,
$340 \leq ZS1 \leq 490$	krokiem co 1 mm,
$0,175 \leq WKS1 \leq 6,283$	krokiem co 0,175 rd

Przy ustalonych przedziałach zmienności, wygenerowano po trzydzieści wartości poszczególnych parametrów w oparciu o rozkład równomierny, tzn. z równym prawdopodobieństwem występowania liczb, zakładając określony krok dyskretyzacji.

Dla wygenerowanych wartości parametrów obliczono przemieszczenia statyczne osi ZW w punktach, w których oś ta przebija płaszczyznę do niej normalną, przechodzącą przez punkty skrawania w czynnej przestrzeni roboczej tokarki (rys. 2) zgodnie z metodyką obliczeniową [2].

#### PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

Sposób rozdziału ustalonych dziesięciu parametrów konstrukcyjnych ZW tokarki oparto o metodę rozdziału parametrów [1].

Dokonano aproksymacji zbioru wartości parametrów konstrukcyjnych i odpowiadających im przemieszczeń składowych (ZOX) do modelu iloczynowego, najlepiej przystającego do zbioru wielkości wejściowych, w postaci:

$$ZOX = e^{A_0} \cdot (DZW1)^{A_1} \cdot (ZK02)^{A_2} \cdot (DZW2)^{A_3} \cdot (ZP1)^{A_4} \cdot (CP1)^{A_5} \cdot (CP2)^{A_6} \cdot (CP3)^{A_7} \cdot (CP4)^{A_8} \cdot (ZS1)^{A_9} \cdot (WKS1)^{A_{10}} \quad (1)$$

gdzie: ZOX jest składowym przemieszczeniem statycznym osi zespołu wrzecionowego w przekrojach przechodzących przez punkty położenia sił skrawania w czynnej przestrzeni

roboczej, zgodnie z kierunkiem składowej odporowej  $P_x$  wywierającej największy wpływ na właściwości eksploatacyjne określone przez klasę dokładności przedmiotu obrabianego.

Jako kryterium rozdziału parametrów konstrukcyjnych **ZW** przyjęto wartość składowej promieniowej przemieszczenia względnego między przedmiotem i narzędziem w rzeczywistym miejscu działania sił skrawania (a nie na końcówce wrzeciona).

Ta wartość przemieszczenia określa bowiem dokładność wymiarowo-kształtową powierzchni toczzonej [3].

Założono, że składowa promieniowa przemieszczenia względnego między przedmiotem obrabianym i narzędziem skrawającym jest równa składowemu przemieszczeniu statycznemu ZOX zespołu wrzecionowego.

Wykorzystując możliwości obliczeniowe metody rozdziału parametrów [1], obliczono wartości współczynników funkcji aproksymującej parametrów konstrukcyjnych ZW dla pięciu położzeń sił skrawania w analizowanej przestrzeni roboczej, według przyjętego kryterium rozdziału.

Następnie, dokonano statystycznej weryfikacji istotności współczynników funkcji aproksymującej.

Procedurę eliminacji parametrów nieistotnych **ZW** przeprowadzono zgodnie z metodą a posteriori dla granicznej wartości istotności:

$$\alpha \leq 0,05 \quad (2)$$

Parametry konstrukcyjne ZW, których istotność współczynników funkcji aproksymującej była większa od granicznego poziomu istotności zostały odrzucone w wyniku eliminacji.

Wynikiem postępowania statystycznego były równania regresji zawierające najbardziej istotne parametry konstrukcyjne **ZW** dla pięciu punktów położenia sił skrawania w czynnej przestrzeni roboczej tokarki:

$$\begin{aligned} \text{„1” } ZOX1 &= e^{-16,60} \cdot (DZW1)^{-3,20} \cdot (ZK02)^{5,57} \cdot (CP4)^{-0,30} \\ \text{„2” } ZOX2 &= e^{-16,31} \cdot (DZW1)^{-3,22} \cdot (ZK02)^{2,87} \cdot (CP4)^{-0,33} \\ \text{„3” } ZOX3 &= e^{-20,20} \cdot (DZW1)^{-0,22} \cdot (ZK02)^{6,20} \cdot (CP4)^{-0,36} \\ \text{„4” } ZOX4 &= e^{19,46} \cdot (DZW1)^{-2,81} \cdot \phantom{(ZK02)^{6,20}} \cdot (CP4)^{-0,36} \\ \text{„5” } ZOX5 &= e^{20,16} \cdot (DZW1)^{-2,91} \cdot \phantom{(ZK02)^{6,20}} \cdot (CP4)^{-0,35} \end{aligned} \quad (3)$$

Na podstawie dokonanej analizy równań regresji stwierdzono, że ze zbioru dziesięciu parametrów konstrukcyjnych ZW, parametrami istotnymi są:

$$DZW1, ZK02, CP4, \quad (4)$$

przy czym, parametr ZK02 jest istotny tylko w przypadku położenia sił skrawania w pierwszych trzech punktach przestrzeni roboczej.

## PODSUMOWANIE

Wydzielenie istotnych parametrów ZW tokarki daje podstawę do podjęcia prac nad etapami ewentualnej modyfikacji lub optymalizacji istniejącego rozwiązania konstrukcyjnego.

Zmodyfikowane rozwiązanie konstrukcyjne ZW powinno charakteryzować się większą średnicą zewnętrzną wrzeciona na odcinku międzypodporowym (DZW1), zwiększoną sztywnością pierwszego łożyska (CP4) przedniej podpory oraz zmniejszoną długością (ZK02) przedniej końcówki wrzeciona.

W przykładowym etapie optymalizacji wartości parametrów **ZW**, wydzielenie z wyjściowego zbioru dziesięciu parametrów, trzech parametrów istotnych znacznie zmniejsza rozmiar zadania optymalizacji.

Istotne parametry konstrukcyjne **ZW** można przyjąć za zmienne decyzyjne, z uwzględnieniem ustalonych ograniczeń, zaś równania regresji mogą stanowić proste modele matematyczne funkcji celu, zgodnie z przyjętym kryterium rozdziału.

Opracowana metoda rozdziału parametrów konstrukcyjnych **ZW** obrabiarki może zostać łatwo dołączona do istniejących systemów obliczeniowych w komputerowo wspartym projektowaniu obrabiarek oraz innych urządzeń mechanicznych.

## LITERATURA

1. Wolny R.: Metoda rozdziału parametrów konstrukcyjnych zespołu wrzecionowego obrabiarki w procesie projektowania. Praca doktorska, Inst. Technol. Masz. i Aut. PWr., Wrocław, 1992.
2. Ilczyszyn J., Koch J., i inni: Opracowanie modułów obliczeniowych, na mikrokomputer klasy IBM PC, do projektowania i oceny własności statycznych zespołów wrzecionowych obrabiarek skrawających do metali. Raport Inst. Technol. Masz. i Aut. PWr., Wrocław, 1990, 46.
3. Krzyżanowski J.: Własności układu konstrukcyjnego obrabiarek skrawających. Zagadnienie oceny ze względu na dokładność kształtowania. Prace Nauk. Inst. Technol. Bud. Masz. PWr., nr 43, seria Monografie nr 10, Wrocław, 1990.

## THE SEPARATION CONSTRUCTIONAL PARAMETERS MACHINE TOOL SPINDLE ASSEMBLY

### SUMMARY

In the paper problem of separation constructional parameters machine tool spindle assembly was presented. It was worked out the method determining constructional parameters significance alternative design of machine tool spindle assembly. The statistic methods using in empirical investigations were applied to the separation constructional parameters. The analysis of constructional parameters significance for spindle assembly model of lathe was made.

*Recenzja: prof. dr hab. inż. Marek Wiśniewski*