

Maciej KAŻMIERCZAK¹
Janusz ŚLIWKA¹

WYBRANE BADANIA OBRABIAREK CIĘŻKICH WYKONANE W KATEDRZE BUDOWY MASZYN POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań sztywności statycznej obrabiarek ciężkich zrealizowanych w ostatnich latach przez Katedrę Budowy Maszyn Politechniki Śląskiej we współpracy z fabryką obrabiarek RAFAMET mieszczącą się w Kuźni Raciborskiej. Przegląd przedstawionych w artykule wyników badań sztywności statycznej (badania prowadzono dwoma alternatywnymi metodami: konwencjonalną i DWSS czyli metodą Dynamiczną Wyznaczania Szttywności Statycznej) dotyczy w głównej mierze badań tokarek karuzelowych serii KCI, ale został także uzupełniony badaniami frezarek bramowych jak i tokarek podtorowych.

1. WSTĘP

Katedra Budowy Maszyn (KBM) Politechniki Śląskiej w Gliwicach jest jedną z niewielu jednostek naukowych w Polsce, której w przeciągu ostatnich dziesięciu – piętnastu latach udało się przeprowadzić stosunkowo szerokie badania obrabiarek ciężkich. Badania te przeprowadzono w warunkach przemysłowych (bezpośrednio po badaniach odbiorczych na halach producenta obrabiarek, lub w zakładach w których obrabiarki te pracowały), a dotyczyły one w głównej mierze badań sztywności statycznej oraz rzadziej, ze względu na istniejące ograniczenia czasowe, badań dynamicznych. Przeprowadzenie wszystkich przedstawionych tutaj badań eksperymentalnych było możliwe dzięki współpracy KBM z przemysłem, w szczególności z producentem obrabiarek ciężkich F.O. RAFAMET S.A. w Kuźni Raciborskiej.

Przedstawione w artykule wyniki badań stanowią tylko wybór przykładowych wyników i dotyczą one tylko badań sztywności statycznej. Pełne publikacje wyników można znaleźć w licznych publikacjach KBM o zasięgu krajowym i międzynarodowym (np. [1],[2],[3]). Efektem części prezentowanych tutaj badań były też prace doktorskie (np. [4],[5]), oraz szersze opracowania stanowiące niepublikowane sprawozdania oraz raporty z realizowanych projektów celowych.

Wszystkie prezentowane w artykule badania eksperymentalne prowadzono w warunkach przemysłowych, na hali producenta obrabiarek lub w zakładach, w których obrabiarki te pracowały. Wyniki badań analizowanych w niniejszym artykule dotyczyły

¹ Katedra Budowy Maszyn, Politechnika Śląska

określenia sztywności obrabiarek, tzn. wyznaczenia wartości wskaźników sztywności statycznej opisujących właściwości całej obrabiarki lub wybranych jej zespołów.

Celem niniejszego artykułu jest podsumowanie badań doświadczalnych obrabiarek ciężkich przeprowadzonych w Katedrze Budowy Maszyn po 2000 roku.

2. METODY BADAWCZE

Badania obrabiarek ciężkich prowadzone przez Katedrę Budowy Maszyn realizowane są w oparciu o dwie podstawowe metody badań sztywności statycznej:

- metodę konwencjonalną,
- metodę Dynamiczną Wyznaczania Sztywności Statycznej (DWSS).

Badania ze względu na istniejące ograniczenia czasowe (w większości przypadków obrabiarka udostępniona do badań była na maksymalnie 8 godzin) w pełniejszym zakresie (większa liczba punktów pomiarowych) przeprowadzono przy użyciu metody DWSS, a jej uzupełnienie stanowiła metoda konwencjonalna realizowana dla newralgicznych punktów konstrukcyjnych obrabiarki. Szczegółowy opis metod badania sztywności statycznej można znaleźć w literaturze: metoda konwencjonalna (np. [6],[7]), metoda DWSS (np. [8], [9]).

Za użyciem obu metod badania sztywności statycznej przemawiało wiele czynników. Metoda konwencjonalna jest powszechnie używana w praktyce przemysłowej od wielu lat, dlatego użycie jej w trakcie badań umożliwiło odniesienie uzyskanych wyników do badań prowadzonych we wcześniejszych latach przez różne jednostki naukowe jak i zakłady przemysłowe. Przykładem takich bardzo rozbudowanych badań sztywności statycznej obrabiarek ciężkich są badania prezentowane w pracy doktorskiej autorstwa S. Zewelda [6]. Za zastosowaniem metody DWSS do realizowanych badań przemawia jej szczególna przydatność do badań właściwości obrabiarek ciężkich (np. uproszczony sposób montażu czujników).

Ponadto wszystkie przedstawione w artykule badania przeprowadzono z zastosowaniem metodyki badań sztywności statycznej obrabiarek ciężkich prowadzonych w warunkach przemysłowych [5]. Zastosowana metodyka badań jest zbiorem wytycznych i zaleceń, tworzących jako całość tok postępowania zalecany podczas badań obrabiarek ciężkich. Bazuje ona na dwóch metodach badania sztywności statyczne obrabiarek ciężkich. Składają się na nią cztery główne etapy:

- ETAP 1 - analiza badanej obrabiarki,
- ETAP 2 - opracowanie planu badań,
- ETAP 3 - przeprowadzenie badań doświadczalnych,
- ETAP 4 - opracowanie i analiza wyników.

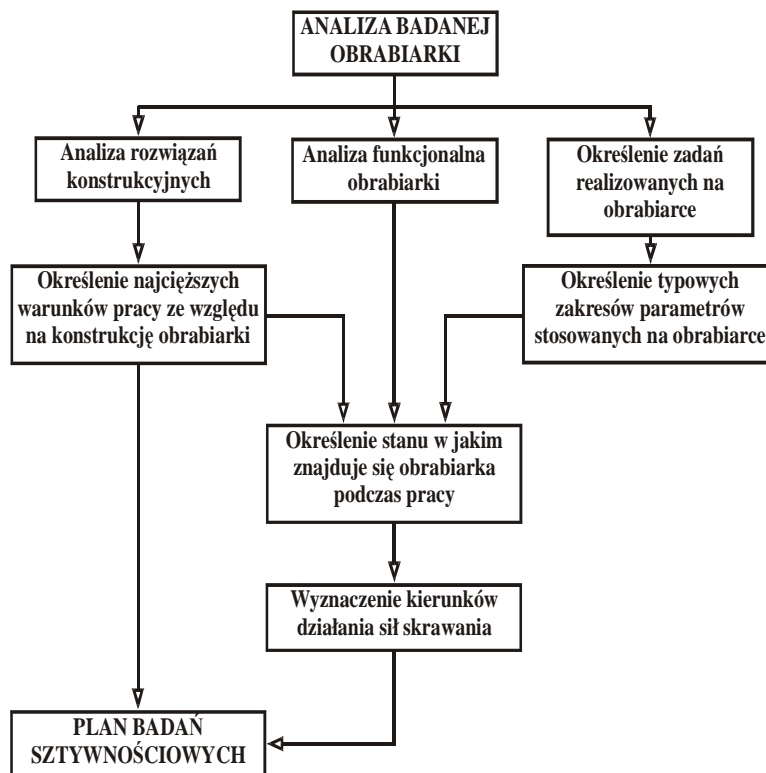
Każdy z czterech etapów odgrywa istotną rolę w procesie oceny właściwości statycznych obrabiarek, jednak najistotniejsze z punktu widzenia poprawnie przeprowadzonych badań są pierwsze dwa, w wyniku których formułowany jest szczegółowy plan badań [5].

Analiza badanej obrabiarki stanowiąca pierwszy etap prac, koniecznych do wykonania w celu sformułowania szczegółowego planu badań, obejmuje: analizę rozwiązań

konstrukcyjnych, analizę funkcjonalną obrabiarki, oraz określenie zadań realizowanych na obrabiarence. Tak przeprowadzona analiza obrabiarki prowadzi do:

- określenia najcięższych warunków pracy ze względu na konstrukcję obrabiarki,
- wytypowania zakresów parametrów stosowanych podczas pracy obrabiarki (głębokość skrawania, posuw, prędkości obrotowe, maksymalne występujące siły skrawania itp.),
- określenia punktów przyłożenia, kierunków działania i zwrotów składowych sił skrawania występujących podczas pracy obrabiarki. Na tej podstawie należy ustalić sposób obciążania obrabiarki w czasie badań.

Głównym celem pierwszego etapu jest ocena zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych i funkcjonalnych poszczególnych zespołów, jak i całej obrabiarki. Czynności niezbędne do wykonania, a wchodzące w skład analizy badanej obrabiarki, przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Czynności wchodzące w skład analizy badanej obrabiarki
Fig. 1. Activities included in the analysis of the investigated machine tool

W kolejnym kroku formułowany jest szczegółowy plan badań, który w przypadku tokarek karuzelowych jak i frezarek bramowych, stanowiących podstawową grupę badanych, obrabiarek powinien obejmować:

- A) w ramach badań sztywności statycznej metodą konwencjonalną:
- wyznaczenie wskaźników sztywności suwaka (lub suwaków),
 - wyznaczenie wskaźników sztywności suportu (lub suportów).

Badanie należy przeprowadzić dla dwóch kierunków działania składowych siły obciążającej obrabiarkę: X i Y, i przy dwóch różnych (skrajnych) wysuwach suwaka.

B) w ramach badań sztywności statycznej metodą DWSS:

- wyznaczenie wskaźników sztywności suwaka (lub suwaków),
- wyznaczenie wskaźników sztywności suportu (lub suportów).

Badanie należy przeprowadzić dla dwóch kierunków obciążenia obrabiarki: X i Y, i przy dwóch różnych (skrajnych) wysuwach suwaka. Dla każdego z powyższych przypadków należy przeprowadzić badania dla trzech różnych częstotliwości siły wymuszającej 3, 5 i 7Hz.

3. BADANE OBRABIARKI CIĘŻKIE

Badania sztywnościowe obrabiarek ciężkich prowadzone w ostatniej dekadzie w Katedrze Budowy Maszyn obejmowały w głównej mierze tokarskie centra karuzelowe różnych typów: KCI, KDC, z czego większość stanowiły tokarki karuzelowe typu KCI w zróżnicowanych wielkościach. Obrabiarki te stanowiły niespotykaną serię w przypadku produkowanych w kraju obrabiarek ciężkich, gdyż przeważnie produkcja obrabiarek ciężkich jest produkcją jednostkową. Przytoczona powyżej proponowana metodyka badań obrabiarek ciężkich w warunkach przemysłowych powstała w oparciu o badania właśnie tych jedenastu tokarskich centrów karuzelowych. Szczegółowy wykaz badanych obrabiarek przytoczono w tabeli 1.

Tabela 1. Tokarskie centra karuzelowe objęte badaniami
Table 1. Turning and boring lathe centers undergoing the investigation

Lp.	TYP OBRABIARKI	OZNACZENIE OBRABIARKI	Widok ogólny obrabiarki
1	<i>tokarskie centra karuzelowe</i>	KCI-210/280 NM	rys. 2
2		KCI-400/540 NM	
3		KCI-500/550 NM	
4		KCI-210/280 NM	
5		KCI-210/280 NM	
6		KCI-400/540 NM	
7		KCI-210/280 NM	
8		KCI-210/280 NM	
9		KCI-210/280 NM	
10		KCI-210/280 NM	
11		KCI-400/540 NM	
12		KDC-700/800 NM	

a)



b)



Rys. 2. Widok ogólny tokarskich centrów karuzelowych: a) typ - KCI-210/280 NM, b) typ - KCI-500/550 NM
 Fig. 2. General view of the turning and boring lathe centers: a) type - KCI-210/280 NM, b) type - KCI-500/550 NM

Uzupełnieniem badań tokarskich centrów karuzelowych stanowiły badania sztywnościowe dwóch frezarek bramowych (tabela 2, rysunek3).

Tabela 2. Frezarki bramowe objęte badaniami
 Table 2. Planer mills undergoing the investigation

Lp.	TYP OBRABIARKI	OZNACZENIE OBRABIARKI	Widok ogólny obrabiaarki
1	<i>frezarka bramowa</i>	HSM 180 CNC	rys. 3a
2		FB 200 CNC	rys. 3b

a)



b)



Rys. 3. Widok ogólny frezarek bramowych: a) typ - HSM 180 CNC, b) typ - FB 200 CNC
 Fig. 3. General view of the planer mills: a) type - HSM 180 CNC, b) type - FB 200 CNC

W drugiej połowie pierwszej dekady dwudziestego pierwszego wieku, zrealizowane badania doświadczalne obrabiarek obejmowały w głównej mierze obrabiarki przeznaczone do obróbki zestawów kołowych. Badaniami objęto trzy typy obrabiarek: tokarki specjalne do obróbki profili kół zestawów kołowych pojazdów szynowych, dwusuportową tokarkę specjalną, dwusuportową tokarkę sterowaną numerycznie wyposażoną w cierny napęd zestawu (tabela 3, rysunek 4).

Tabela 3. Obrabiarki przeznaczone do obróbki zestawów kołowych objęte badaniami
 Table 3. Machine tools dedicated to machining of wheel sets undergoing the investigation

Lp.	TYP OBRABIARKI	OZNACZENIE OBRABIARKI	Widok ogólny obrabiarki
1	<i>tokarka specjalna do obróbki profili kół zestawów kołowych pojazdów szynowych</i>	UBF-112 N	rys.4a
2		UBF-112 N	
3	<i>dwusupportowa tokarka specjalna</i>	UGL 80 N	rys.4b
4	<i>dwusupportowa tokarka sterowana numerycznie wyposażona w cierny napęd zestawu</i>	UFB 125 N	rys.4c

a)



b)



c)



Rys. 4. Widok ogólny obrabiarek przeznaczonych do obróbki zestawów kołowych: a) UGL 112 N, b) UGL 80 N, c) UFB 125 N

Fig. 4. General view of machine tools dedicated to wheel sets machining: a) UGL 112 N, b) UGL 80 N, c) UFB 125 N

Ostatnią z obrabiarek badanych w omawianym okresie była wielozadaniowa tokarka specjalna TV 240 CNC (tabela 4; rysunek 5).

W przypadku każdej z wymienionych powyżej obrabiarek zakres badań różnił się znacząco, co wynikało przede wszystkim z ograniczonego dostępu do obrabiarki (maksymalnie była to jedna zmiana robocza; 8 godz.). Jednak w każdym przypadku plan badań zgodny był z metodyką przedstawioną w rozdziale drugim i obejmował badania przy użyciu obu metod badania sztywności statycznej: konwencjonalnej i DWSS.

Tabela 4. Wielozadaniowa tokarka specjalna objęta badaniami
Table 4. The special multi-purpose machine tool undergoing the investigation

Lp.	TYP OBRABIARKI	OZNACZENIE OBRABIARKI	Widok ogólny obrabiarki
1	wielozadaniowa tokarka specjalna	TV 240 CNC	rys.5



Rys. 5. Widok ogólny wielozadaniowej tokarki specjalnej
Fig. 5. General view of the special multi-purpose machine tool

4. WYNIKI BADAŃ SZTYWNOŚCIOWYCH

W niniejszym rozdziale zestawiono wybrane wyniki badań doświadczalnych obrabiarek ciężkich, uzyskane przy użyciu dwóch metod badania sztywności statycznej: konwencjonalnej i DWSS, przeprowadzone w warunkach przemysłowych. Zaprezentowane wyniki bazują na obszernym materiale badawczym zgromadzonym w trakcie realizowanych badań doświadczalnych w Katedrze Budowy Maszyn. Można przypuszczać, że jest to największa baza wiedzy na temat właściwości sztywnościowych obrabiarek ciężkich w kraju. Z uwagi na znaczącą ilość danych oraz na to, iż nie są one w pełni usystematyzowane

w kolejnych rozdziałach przedstawiono jedynie wybrane wyniki badań. Spowodowane jest to tym, iż w ciągu kilku lat prac metody badawcze były rozwijane i zmieniane, a także znacząco różnił się czas badań kolejnych obrabiarek oraz warunki techniczne w jakich badania te prowadzono. Przy wyborze wyników badań starano się zestawić wyniki uzyskane dla tych samych punktów pomiarowych dla możliwie najliczniejszej grupy obrabiarek. Wybór taki, jak każdy tego typu wybór, musi być subiektywnym.

Jak już wcześniej wspomniano badania kolejnych obrabiarek znacząco różniły się pod względem zakresu jak i warunków technicznych, w których je realizowano. Z tego względu w większości przypadków trudno jest odnieść uzyskane wyniki do badań przeprowadzonych we wcześniejszych latach. Także niemożliwe jest bezpośrednie porównanie wartości wskaźników sztywności statycznej wyznaczonych przy użyciu obu zastosowanych metod badania sztywności (klasycznej i DWSS). Przeszkodą w tym przypadku są różne warunki techniczne, w których prowadzone są badania sztywnościowe obiema metodami.

Zestawiając wyniki badań dla kolejnych obrabiarek świadomie zwrócono uwagę na pewne zależności występujące pomiędzy wartościami wskaźników sztywności, które zauważono już we wcześniejszych analizach wyników:

- wyniki badań przy użyciu metody konwencjonalnej i DWSS charakteryzują się największą zbieżnością dla częstotliwości siły wymuszającej kształtującej się w przedziale od 3 do 7Hz,
- zgodność wyników uzyskanych z badań obiema metodami spada wraz ze wzrostem udziału sztywności stykowej w stosunku do sztywności postaciowej,
- na wartość wyznaczonych wskaźników sztywności w kierunku działania serwonapędu silnie oddziałują właściwości samego serwonapędu,
- wartość wskaźnika sztywności wyznaczonego metodą konwencjonalną jest zbliżona do wartości wskaźnika sztywności wyznaczonego metodą DWSS przy użyciu czujników indukcyjnych dla częstotliwości siły wymuszającej równej 1Hz (dla tak niskiej częstotliwości siły wymuszającej przeważnie nie udaje się wyznaczyć wartości wskaźnika sztywności przy pomocy czujników sejsmicznych).

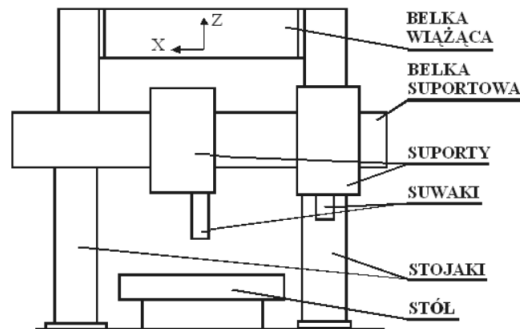
W dalszej części niniejszego rozdziału przedstawiono wyniki badań doświadczalnych z podziałem na poszczególne grupy obrabiarek.

4.1. TOKARSKIE CENTRA KARUZELOWE

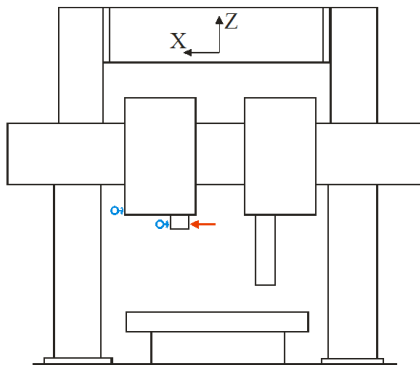
Badania doświadczalne tokarskich centrów karuzelowych charakteryzowały się bardzo dużym zróżnicowaniem, jednak w każdym przypadku plany badań koncentrowały się na wyznaczeniu właściwości suwaków oraz suportów, dla dwóch charakterystycznych położenia suwaka, czyli położenia odpowiadającego wysuwowi maksymalnemu (około 1200mm) lub minimalnemu (około 250mm). Na rysunkach 6b i 6c przedstawiono na schematach charakterystyczne położenia suwaków wraz z rozmieszczeniem czujników w przypadku badań prowadzonych w kierunku osi X. Rozmieszczenie czujników w przypadku badań prowadzonych w kierunku osi Y i Z było analogiczne do pokazanego na rys. 6. Dodatkowo w przypadku badań metodą konwencjonalną czujniki indukcyjne bazowane były najczęściej

na stole lub belce suportowej badanej obrabiarki, rzadziej na niezależnym statywie. Badania prowadzono najczęściej dla jednej konfiguracji zespołów roboczych obrabiarki, odpowiadającej położeniu centralnemu badanego suportu (prawego lub lewego), co pokazano na rysunku 6a. Dodatkowo ze względu na ograniczenia czasowe, przekładające się na zakres realizowanych badań, z reguły najpełniejszy zakres badań obejmował wyznaczenie właściwości tylko jednego suwaka (przeważnie był to suwak lewy).

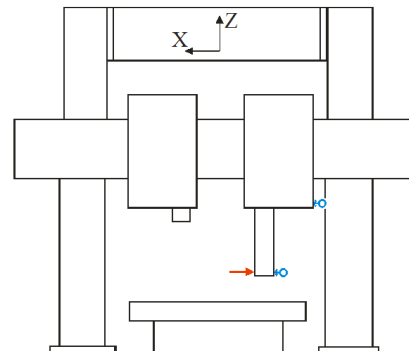
a)



b)



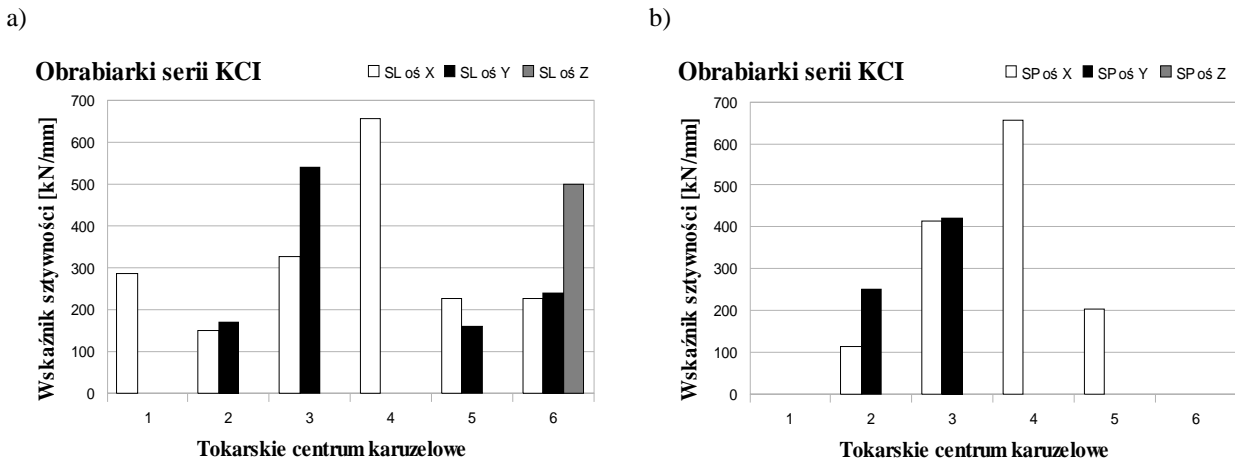
c)



Rys. 6. Schemat tokarskiego centrum karuzelowego: a) położenie centralne suportu, b), c) rozmieszczenie czujników dla badań w kierunku osi X
 Fig. 6. Turning and boring lathe center scheme: a) central positioning of the carriage, b), c) positioning of sensors for investigation in direction X axis

Poniżej przedstawiono przykładowe wyniki dla badań sztywnościowych przy użyciu metody konwencjonalnej dla tokarskich centrów karuzelowych typu KCI-210/280 NM (oznaczone na wykresach indeksami 1 do 4), KCI-400/540 NM (oznaczone na wykresach indeksem 5) i KCI-500/550 NM (oznaczone na wykresach indeksem 6).

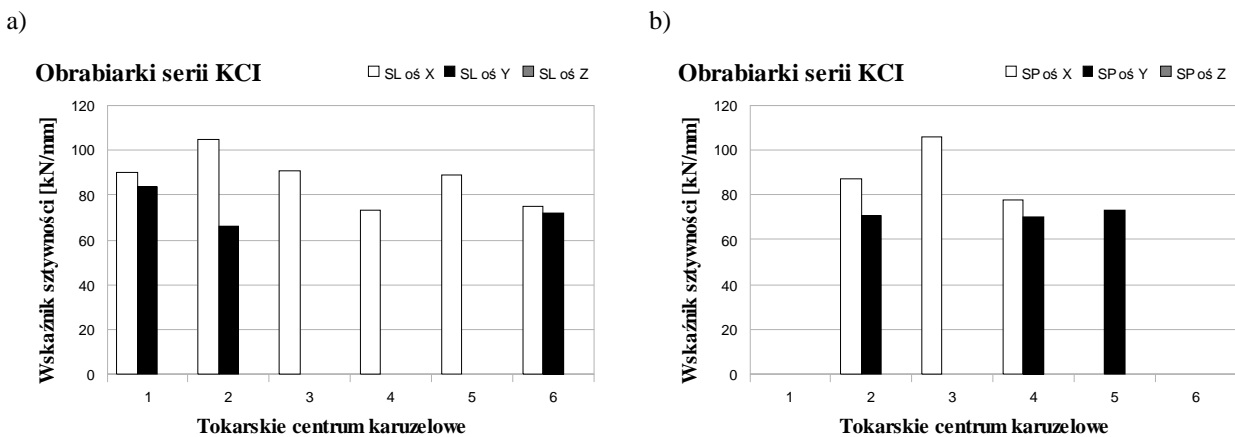
Na rysunku numer 7 zestawiono wartości wskaźników sztywności (we wszystkich trzech osiach) wyznaczone dla minimalnego wysuwu obu suwaków: lewego (rys. 7a) i prawego (rys. 7b). W przypadku wszystkich przebadanych obrabiarek zauważono znaczny rozrzut, gdyż w każdym przypadku wartości wyznaczonych wskaźników sztywności różnią się w poszczególnych osiach pomiędzy kolejnymi obrabiarkami nawet o 300%.



Rys. 7. Wartości wskaźników sztywności tokarskich centrów karuzelowych serii KCI wyznaczone dla minimalnego wysuwu: a) suwaka lewego, b) suwaka prawego

Fig. 7. Stiffness indicator values of turning and boring lathe centers KCI series determined for the minimum line feed: a) of the left slide, b) of the right slide

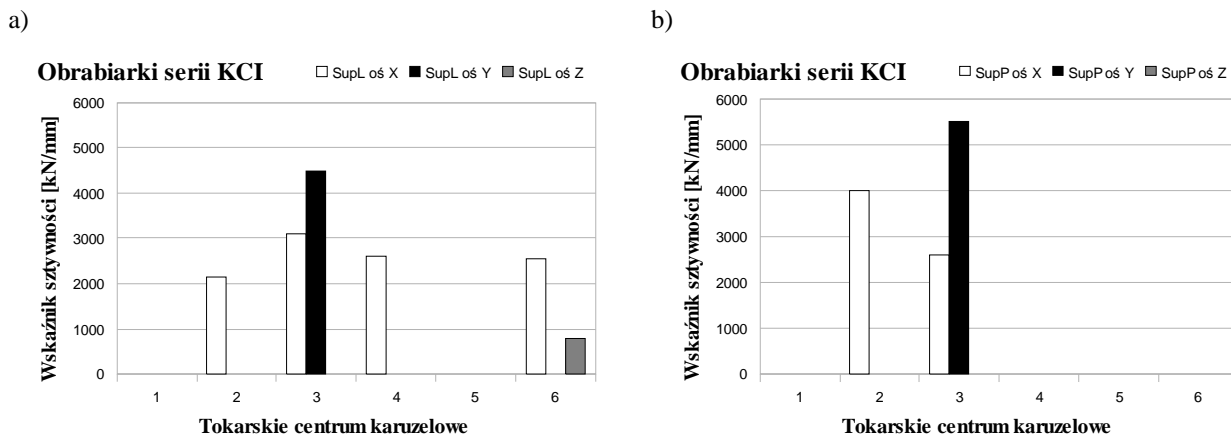
Po zwiększeniu wysuwu suwaków do wartości maksymalnej (około 1200mm) obserwujemy znacznie mniejszy rozrzut wyznaczonych wartości wskaźników sztywności (rys. 8). Przyjmują one wartości od 60 do 100kN/mm dla obu badanych suwaków.



Rys. 8. Wartości wskaźników sztywności tokarskich centrów karuzelowych serii KCI wyznaczone dla maksymalnego wysuwu: a) suwaka lewego, b) suwaka prawego

Fig. 8. Stiffness indicator values of turning and boring lathe centers KCI series determined for the maximum line feed: a) of the left slide, b) of the right slide

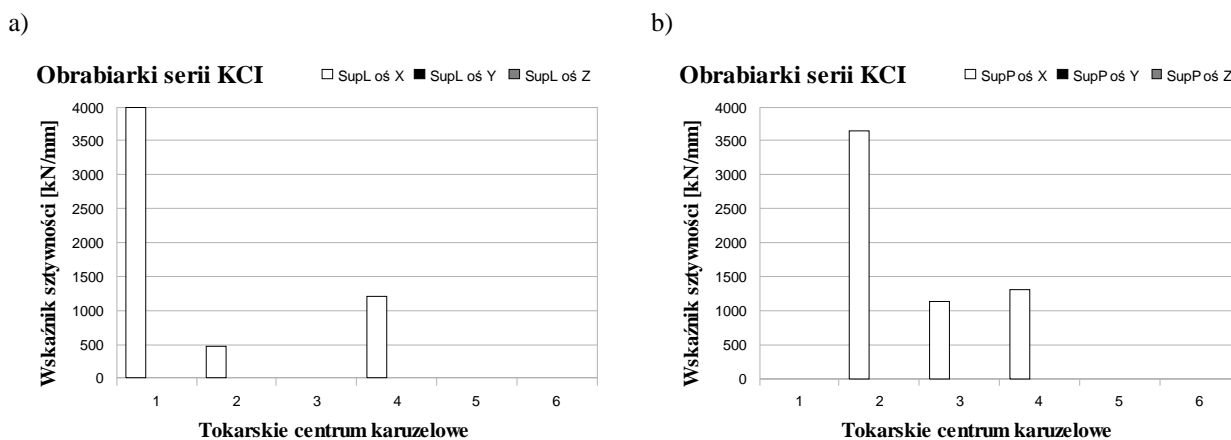
Wyniki uzyskane dla suportów prawego i lewego charakteryzowały się podobnym rozrzutem, jednak przyjmowały one znacznie większe wartości (rys. 9 i 10). W obu analizowanych przypadkach obciążenia obrabiarki, przy minimalnym i maksymalnym wysuwie suwaka wskaźniki sztywności przyjmowały wartości przekraczające 1000kN/mm.



Rys. 9. Wartości wskaźników sztywności suportów tokarskich centrów karuzelowych serii KCI wyznaczone dla minimalnego wysuwu: a) suwaka lewego, b) suwaka prawego

Fig. 9. Stiffness indicator values of carriages of turning and boring lathe centers KCI series determined for the minimum line feed: a) of the left slide, b) of the right slide

W oparciu o wszystkie przeprowadzone badania można podjąć próbę sformułowania charakterystycznych wartości wskaźników sztywności dla tokarskich centrów karuzelowych KCI-210/280 NM.



Rys. 10. Wartości wskaźników sztywności suportów tokarskich centrów karuzelowych serii KCI wyznaczone dla maksymalnego wysuwu: a) suwaka lewego, b) suwaka prawego

Fig. 10. Stiffness indicator values of carriages of turning and boring lathe centers KCI series determined for the maximum line feed: a) of the left slide, b) of the right slide

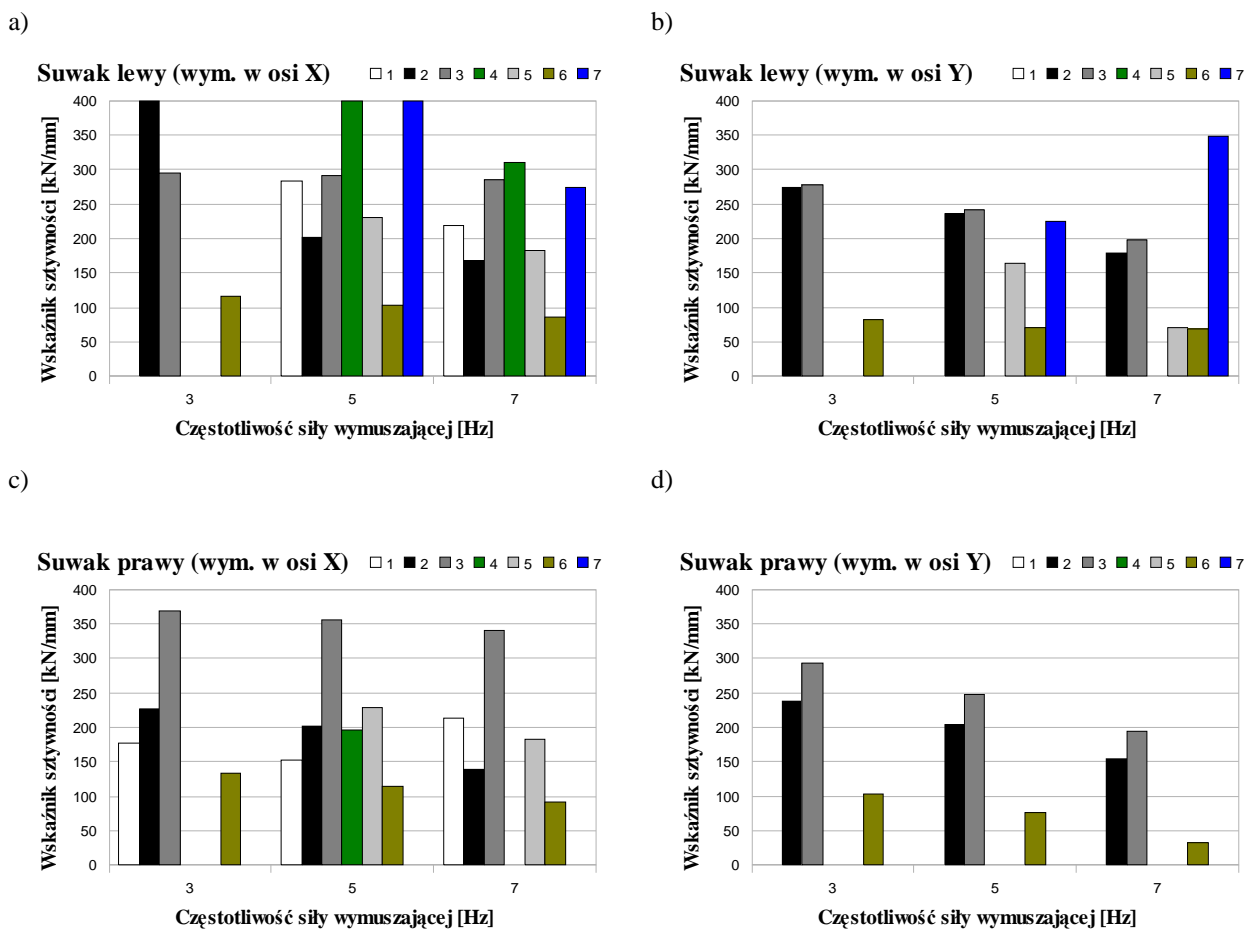
Tabela 5. Wartości wskaźników sztywności charakterystyczne dla tokarskich centrów karuzelowych KCI-210/280 NM

Table 5. Stiffness indicator values typical for turning and boring lathe centers KCI-210/280 NM

METODA BADAWCZA	WARTOŚĆ WSKAŹNIKA SZTYWNOŚCI [kN/mm]	
	WYSUW MIN.	WYSUW MAX.
Metoda konwencjonalna	120 ÷ 160	60 ÷ 95

Analogiczny zakres miały badania prowadzone przy użyciu metody DWSS. Objęły one między innymi siedem obrabiarek dla których przykładowe wyniki przedstawiono na wykresach poniżej. Tokarskie centra karuzelowe typu KCI-210/280 NM (oznaczone na wykresach indeksami 1 do 4), KCI-400/540 NM (oznaczone na wykresach indeksem 5 do 6) i KCI-500/550 NM (oznaczone na wykresach indeksem 7). Obrabiarki obciążano w dwóch kierunkach (oś X i Y) siłą sinusoidalnie zmienną o częstotliwościach 3, 5 i 7 Hz.

Przykładowe wyniki dla kilku obrabiarek zamieszczono na wykresach, przy obciążeniu obu suwaków dla dwóch charakterystycznych wysuwów suwaków (rys. 11 – wysuw minimalny; rys. 12 – wysuw maksymalny).

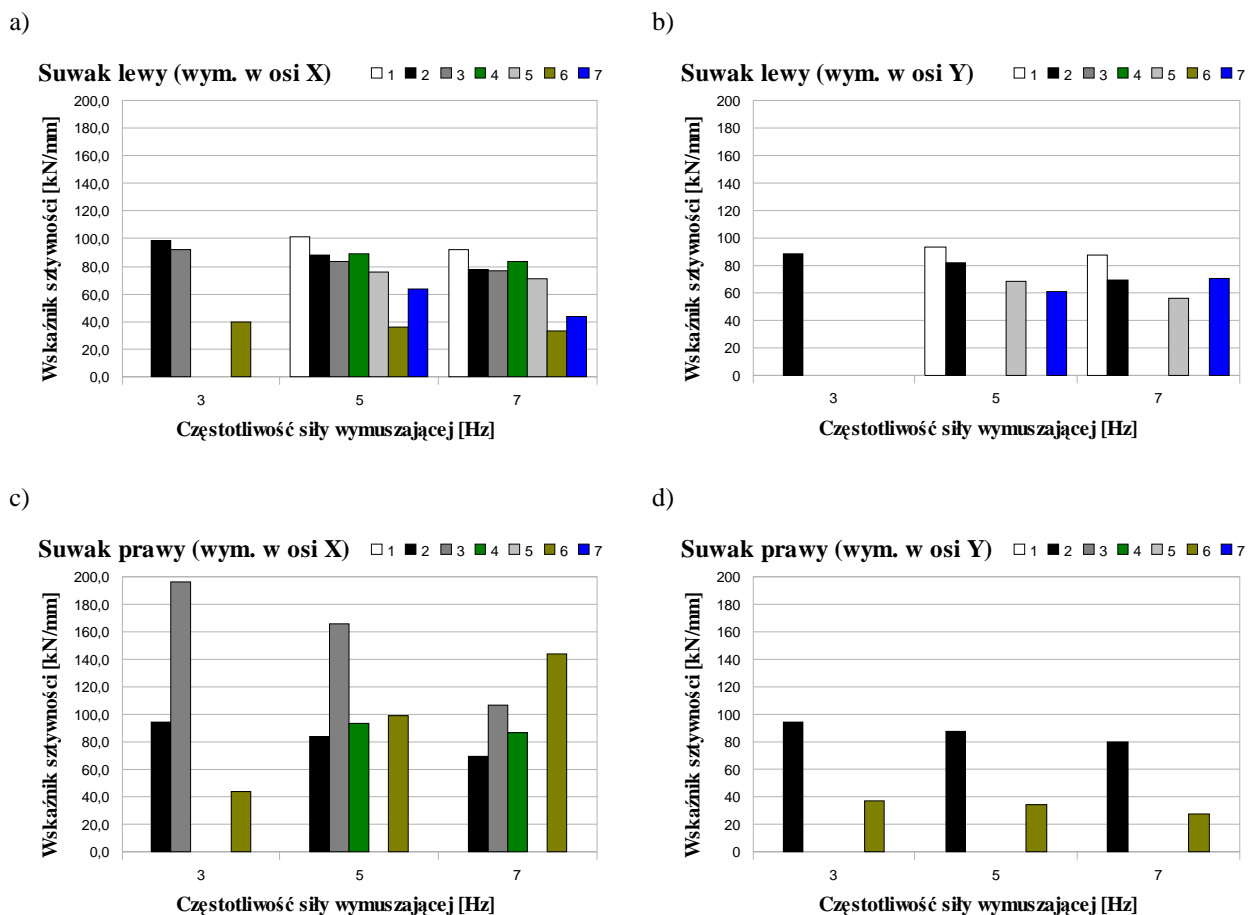


Rys. 11. Wartości wskaźników sztywności tokarskich centrów karuzelowych serii KCI wyznaczone dla minimalnego wysuwu: a), b) suwaka lewego, c), d) suwaka prawego

Fig. 11. Stiffness indicator values of carriages of turning and boring lathe centers KCI series determined for the minimum line feed: a), b) of the left slide, c), d) of the right slide

Badania przeprowadzone dla wszystkich tokarskich centrów karuzelowych pozwoliły na wyznaczenie charakterystycznych wartości wskaźników sztywności dla tokarskich centrów karuzelowych KCI-210/280 NM, które stanowiły najliczniejszą grupę badanych obrabiarek tego typu. Wartości wyznaczonych wskaźników sztywności podano dla trzech charakterystycznych częstotliwości siły wymuszającej: 3, 5 i 7 Hz. W trakcie wszystkich przeprowadzonych badań zauważono, że wartość wyznaczonego wskaźnika sztywności

maleje wraz ze wzrostem częstotliwości siły wymuszającej (tabela 6). Zależność ta jest szczególnie widoczna w przypadku badań w kierunku działania serwonapędu, gdzie istotną rolę odgrywają jego właściwości.



Rys. 12. Wartości wskaźników sztywności tokarskich centrów karuzelowych serii KCI wyznaczone dla maksymalnego wysuwu: a), b) suwaka lewego, c), d) suwaka prawego

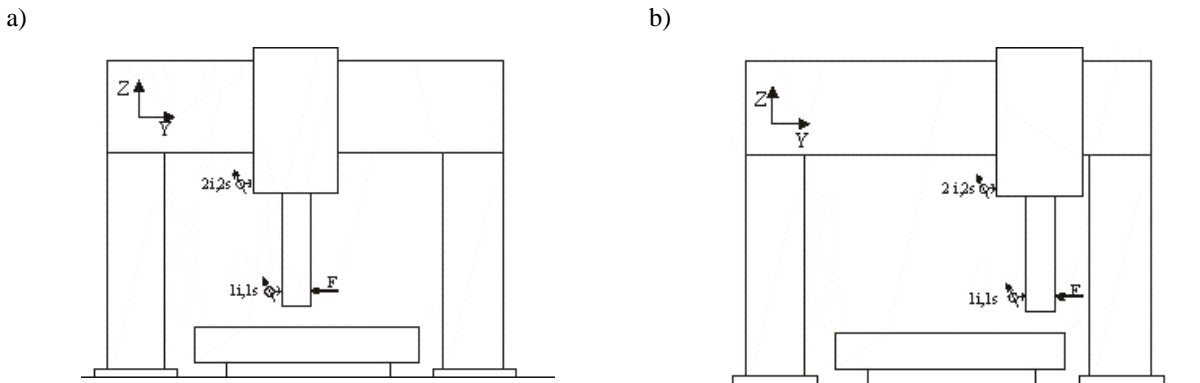
Fig. 12. Stiffness indicator values of carriages of turning and boring lathe centers KCI series determined for the maximum line feed: a), b) of the left slide, c), d) of the right slide

Tabela 6. Wartości wskaźników sztywności charakterystyczne dla tokarskich centrów karuzelowych KCI-210/280 NM
Table 6. Stiffness indicator values typical for turning and boring lathe centers KCI-210/280 NM

METODA BADAWCZA	WARTOŚĆ WSKAŹNIKA SZTYWNOŚCI [kN/mm]	
	WYSUW MIN.	WYSUW MAX.
DWSS 3Hz	240 ÷ 340	70 ÷ 85
DWSS 5Hz	250 ÷ 290	70 ÷ 78
DWSS 7Hz	250 ÷ 290	65 ÷ 75

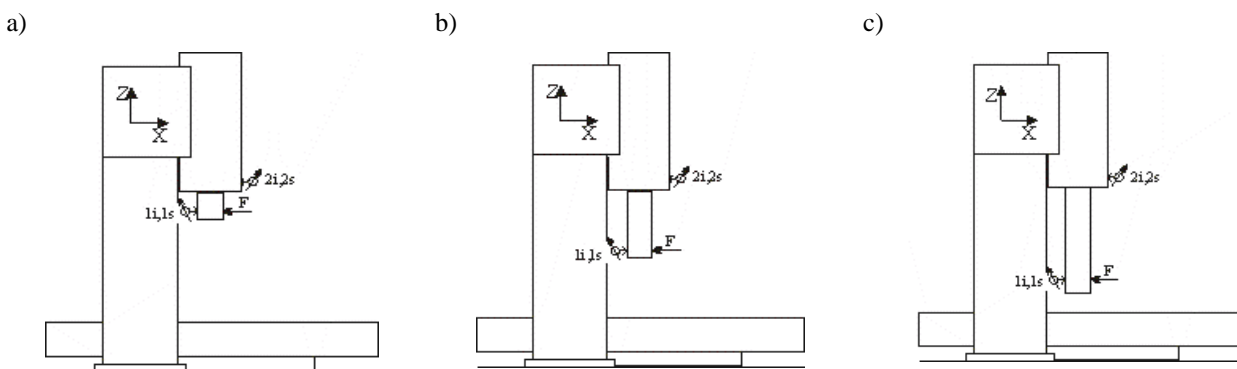
4.2. FREZARKI BRAMOWE

W ramach przeprowadzonych badań doświadczalnych przebadano także dwie frezarki bramowe FB 200 CNC i HSM 180 CNC. W tym przypadku ze względu na konstrukcję obrabiarki plan badań został rozszerzony, ponieważ badania objęły dwa charakterystyczne położenia suportu (rys. 13a -centralne; rys. 13b - skrajne).



Rys. 13. Schemat frezarki bramowej: a-położenie centralne suportu; b-położenie skrajne suportu
Fig. 13. Planer mill scheme: a) – central position of the carriage; b) - extreme position of the carriage

Dodatkowo badania przeprowadzono dla trzech wysuwów suwaka: minimalnego 485mm, pośredniego 925mm i maksymalnego 1200mm (w przypadku frezarki HSM). Frezarki obciążano w dwóch kierunkach X i Y, z pominięciem obciążenia obrabiarki w osi Z, gdyż w trakcie badań wstępnych potwierdzono, że w tym kierunku obrabiarki ciężkie charakteryzują się wyraźnie wyższą sztywnością.

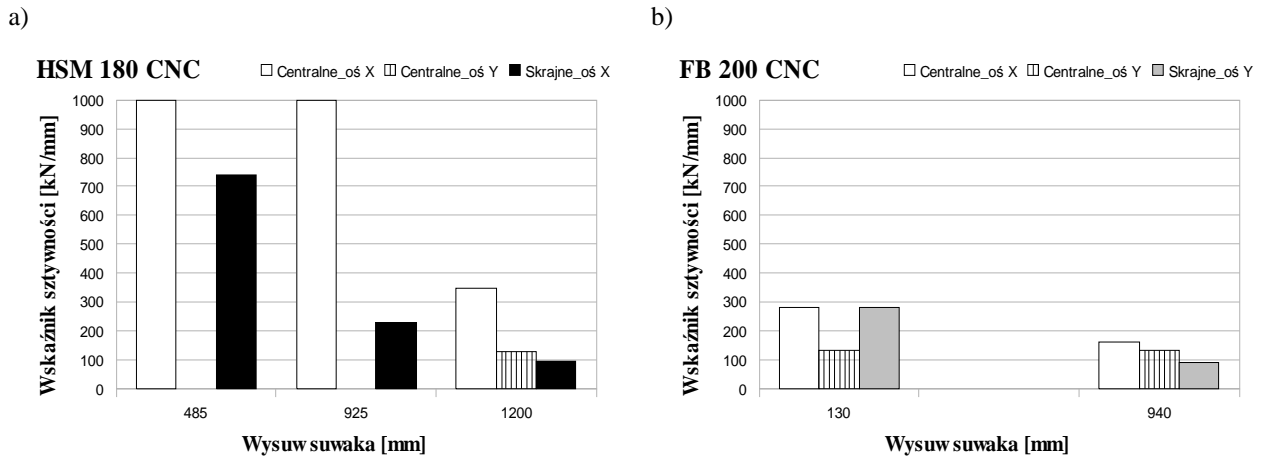


Rys. 14. Schemat frezarki bramowej: a) minimalny wysuw suwaka, b) pośredni wysuw suwaka, c) maksymalny wysuw suwaka

Fig. 14. Planer mill scheme: a) minimum slide line feed, b) medium slide line feed, c) maximum slide line feed

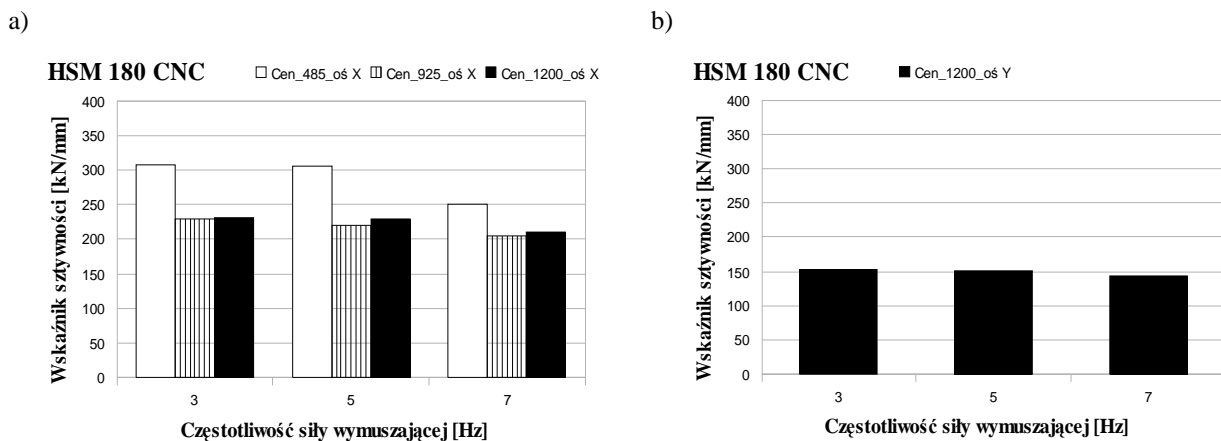
Na rysunku 15 zestawiono wybrane wartości wskaźników sztywności wyznaczonych w trakcie badań doświadczalnych przy użyciu metody konwencjonalnej badania sztywności

statycznej obrabiarek. W przypadku frezarek bramowych ponownie widoczna jest zależność zaobserwowana w przypadku badań tokarskich centrów karuzelowych. Wartości wskaźników sztywności wyznaczonych w kierunku osi Y (działania serwonapędu) są niższe niż wskaźniki sztywności statycznej wyznaczone w kierunku osi X, gdzie na wartość wskaźnika sztywności nie wpływają właściwości samego serwonapędu. W przypadku obu frezarek widoczny jest znaczący spadek wartości wskaźników sztywności wraz ze wzrostem wysuwu suwaka.



Rys. 15. Wartości wskaźników sztywności statycznej wyznaczonych metodą konwencjonalną: a) HSM 180 CNC, b) FB 200 CNC

Fig. 15. Static stiffness indicator values determined by traditional method: a) HSM 180 CNC, b) FB 200 CNC



Rys. 16. Wartości wskaźników sztywności statycznej wyznaczonych metodą DWSS, dla położenia centralnego suportu: a) HSM 180 CNC - kierunek X, b) HSM 180 CNC - kierunek Y

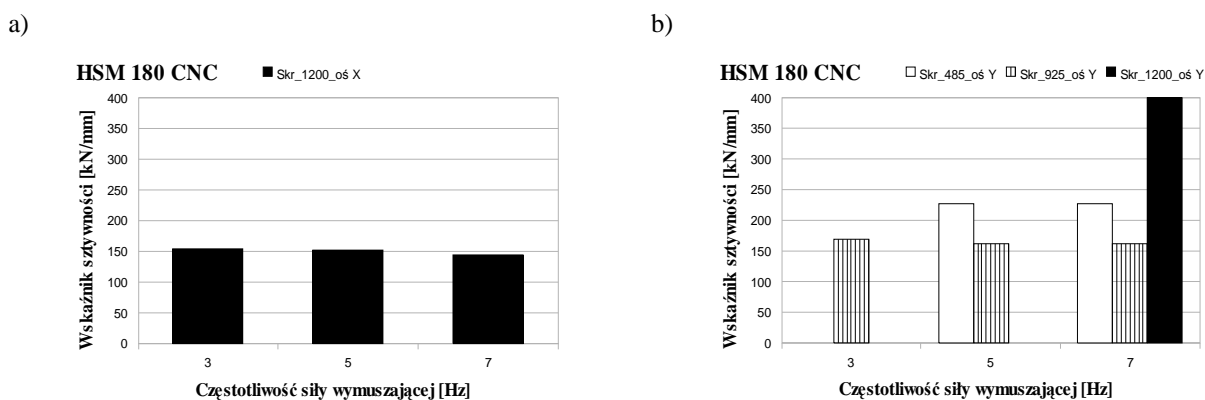
Fig. 16. Static stiffness indicator values determined by DDSS method, for the central position of the carriage: a) HSM 180 CNC - X direction, b) HSM 180 CNC - Y direction

Badania frezarek obejmowały w przypadku obu metod badania sztywności statycznej

ocenę właściwości obrabiarek w kilkunastu analizowanych punktach pomiarowych. Poniżej na wykresach (rys. 16 do 19) zestawiono wybrane wyniki uzyskane podczas badań metodą DWSS.

W przypadku obu obrabiarek badania przeprowadzono dla dwóch charakterystycznych położenia suportów: centralnego i skrajnego. Porównując wyniki uzyskane w trakcie badań można stwierdzić że położenie suportu na belce nie wpływa znacząco na uzyskane wartości wskaźników sztywności.

Porównując wykresy z rys. 16a i 17a obserwujemy podczas badań w kierunku osi X, że dla maksymalnego wysuwu suwaka wartości wskaźników sztywności utrzymują się w przedziale od 150 do 200kN/mm. Podobnymi właściwościami charakteryzuje się suwak w kierunku osi Y.

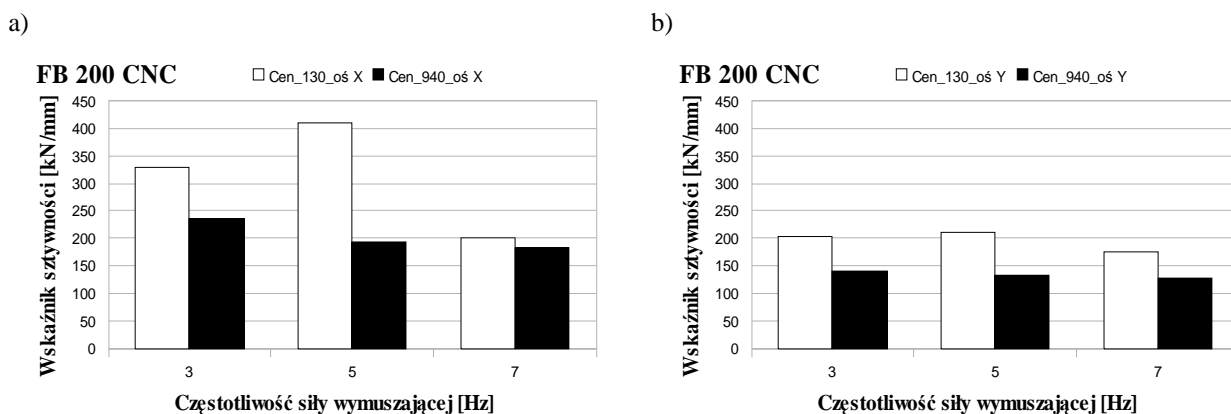


Rys. 17. Wartości wskaźników sztywności statycznej wyznaczonych metodą DWSS, dla położenia skrajnego suportu:

a) HSM 180 CNC - kierunek X, b) HSM 180 CNC - kierunek Y

Fig. 17. Static stiffness indicator values determined by DDSS method, for the extreme position of the carriage:

a) HSM 180 CNC - X direction, b) HSM 180 CNC - Y direction



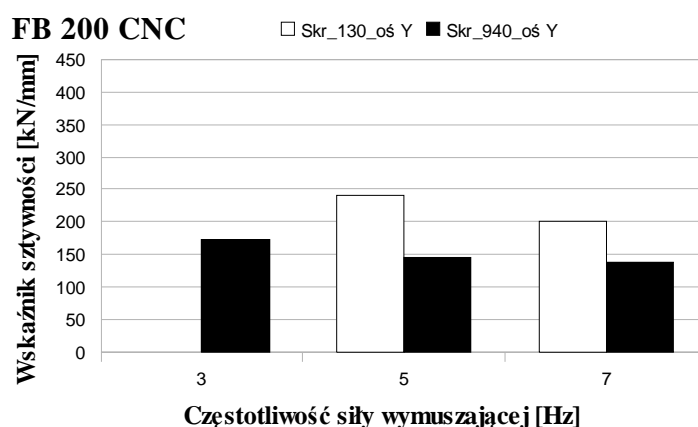
Rys. 18. Wartości wskaźników sztywności statycznej wyznaczonych metodą DWSS, dla położenia centralnego suportu: a) FB 200 CNC - kierunek X, b) FB 200 CNC - kierunek Y

Fig. 18. Static stiffness indicator values determined by DDSS method, for the central position of the carriage:

a) FB 200 CNC - X direction, b) FB 200 CNC - Y direction

Zbliżonymi właściwościami charakteryzowała się druga z badanych frezarek (FB 200 CNC). Przykładowe wyniki przedstawiono na wykresach (rys. 18 i 19). Bezpośrednio można porównywać wartości wskaźników sztywności suwaków wyznaczone przy zbliżonych wysuwach (925/940mm). Porównując wyniki uzyskane w trakcie badań w kierunku osi X dla położenia centralnego widać, że w przypadku obu frezarek wartości wskaźników sztywności utrzymują się w przedziale od 200 do 250kN/mm.

Podobnie jest w przypadku badań prowadzonych w położeniu skrajnym suportu. Wartości wskaźników sztywności wyznaczone w kierunku osi Y w przypadku obu frezarek przyjmują wartości na poziomie 150kN/mm.



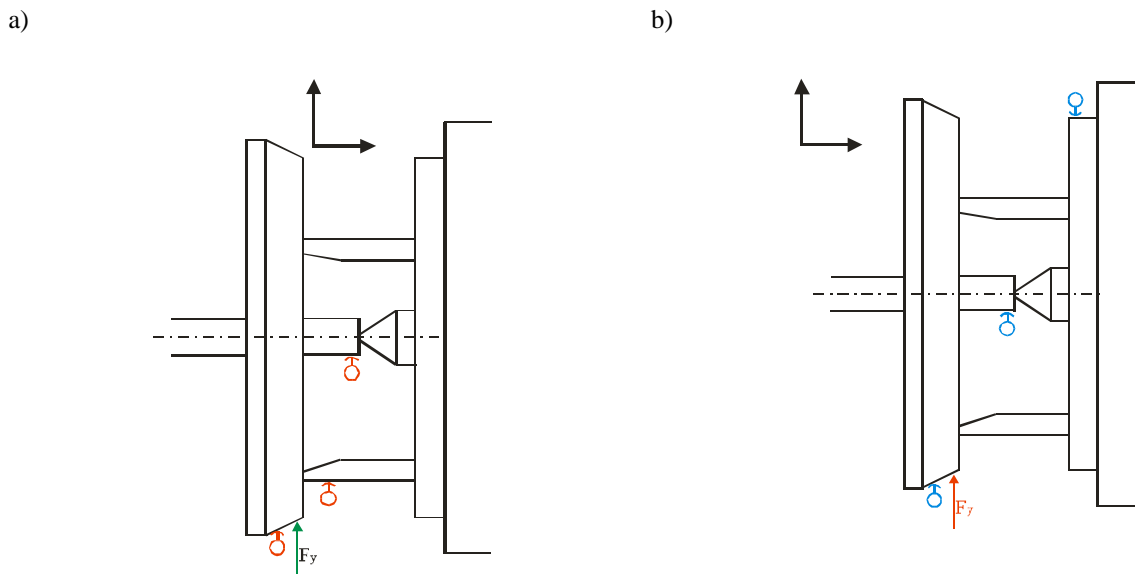
Rys. 19. Wartości wskaźników sztywności statycznej wyznaczonych metodą DWSS, dla położenia skrajnego suportu (FB 200 CNC – kierunek Y)

Fig. 19. Static stiffness indicator values determined by DDSS method, for the extreme position of the carriage (FB 200 CNC – Y direction)

4.3. OBRABIARKI PRZEZNACZONE DO OBRÓBK ZESTAWÓW KOŁOWYCH

Kolejną grupę maszyn objętych badaniami [10] stanowiły obrabiarki przeznaczone do obróbki zestawów kołowych. Obrabiarki dedykowane dla kolejnictwa charakteryzowały się odmienną konstrukcją, dlatego zakres badań w ich przypadku uległ znacznej modyfikacji. W przypadku identyfikacji ich właściwości skoncentrowano się na obszarze bezpośrednio związanym z montażem zestawu kołowego na tokarce, gdyż z punktu widzenia dokładności obróbki te miejsca są istotne. Położenie wybranych punktów pomiarowych dla obrabiarek serii UBF przedstawiono na schemacie (rys. 20).

Badania obrabiarek tego typu obejmowały kilkadziesiąt punktów pomiarowych. Na zamieszczonych schematach (rys. 20) zaznaczono tylko położenie wybranych trzech punktów pomiarowych: C1-punkt położony na bieżni zestawu kołowego, C2-punkt położony na zabieraku, C3-punkt położony na zestawie kołowym w pobliżu kła. Przedstawione poniżej przykładowe wartości wskaźników sztywności uzyskane w trakcie badań obiema metodami (rys. 21 – metoda konwencjonalna, rys. 22 – metoda DWSS) dotyczą właśnie tych punktów pomiarowych.

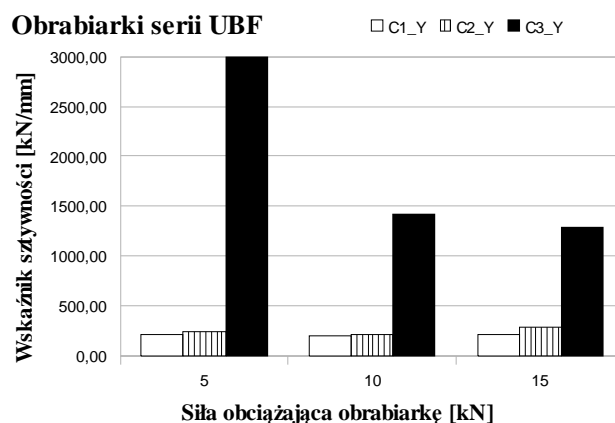


Rys. 20. Schemat obrabiarek przeznaczonych do obróbki zestawów kołowych: a), b) położenie wybranych punktów pomiarowych na obrabiarkach serii UBF

Fig. 20. Scheme of machine tools dedicated to wheel sets machining: a), b) location of selected measurement points on UBF series machine tools

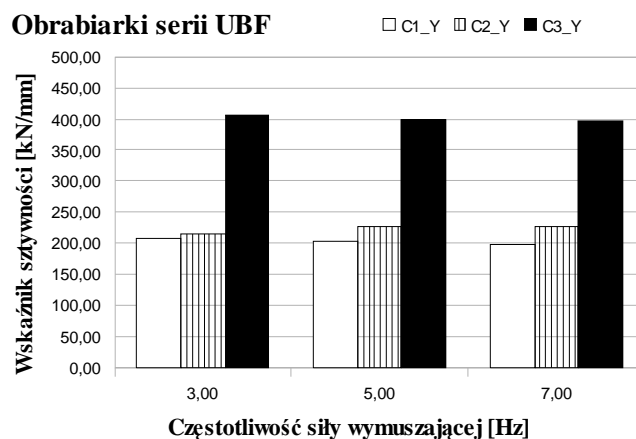
W przypadku badań ww. obrabiarek można stwierdzić, że ważne z punktu widzenia dokładności obróbki zespoły tokarek charakteryzują się wskaźnikami sztywności na poziomie 200 do 250 kN/mm. Dodatkowo dla przytoczonych przykładowych wyników obserwujemy dużą zbieżność wartości wskaźników sztywności wyznaczonych w trakcie badań obiema metodami.

W przypadku drugiej z badanych obrabiarek przytoczono wyniki (z obu metod) dla punktów pomiarowych położonych na tarczy i korpusie obrabiarki (rys. 23).

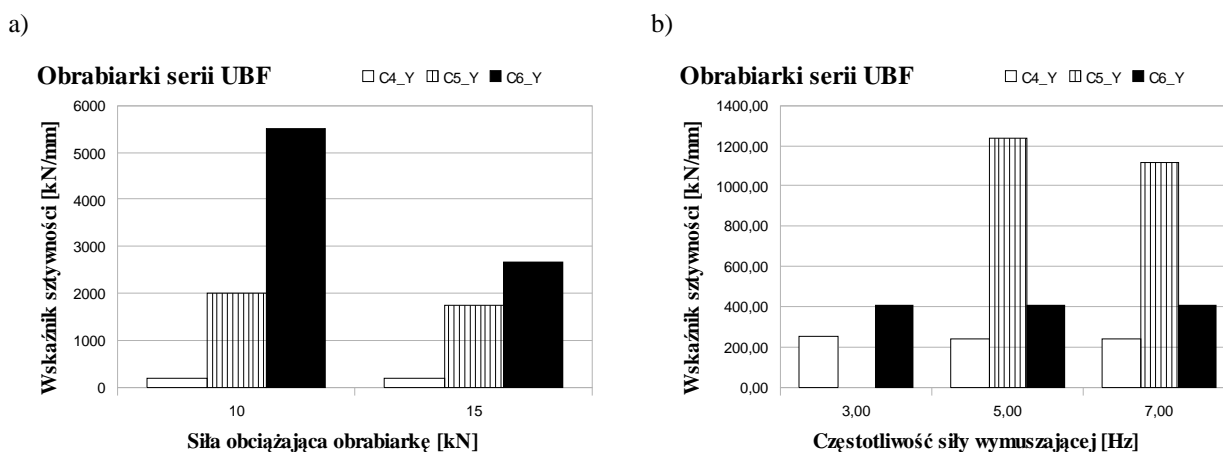


Rys. 21. Wartości wskaźników sztywności statycznej obrabiarek serii UBF wyznaczonych metodą konwencjonalną

Fig. 21. Static stiffness indicator values of UBF machine tools determined by traditional method



Rys. 22. Wartości wskaźników sztywności statycznej wyznaczonych w trakcie badań metodą DWSS
 Fig. 22. Static stiffness indicator values of UBF series machine tools determined by DDSS method

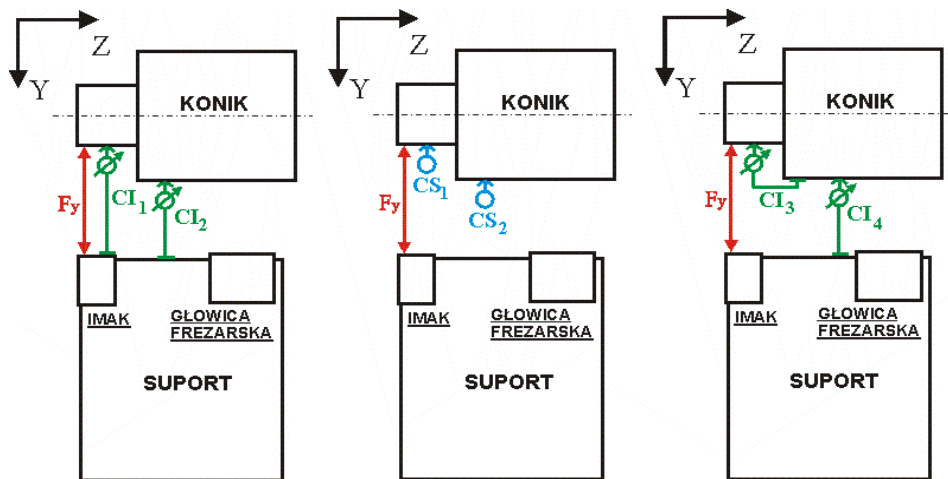


Rys. 23. Wartości wskaźników sztywności statycznej obrabiarek serii UBF:
 a) metoda konwencjonalna, b) metodą DWSS
 Fig. 23. Static stiffness indicator values of UBF series machine tools:
 a) the traditional method, b) the DDSS method

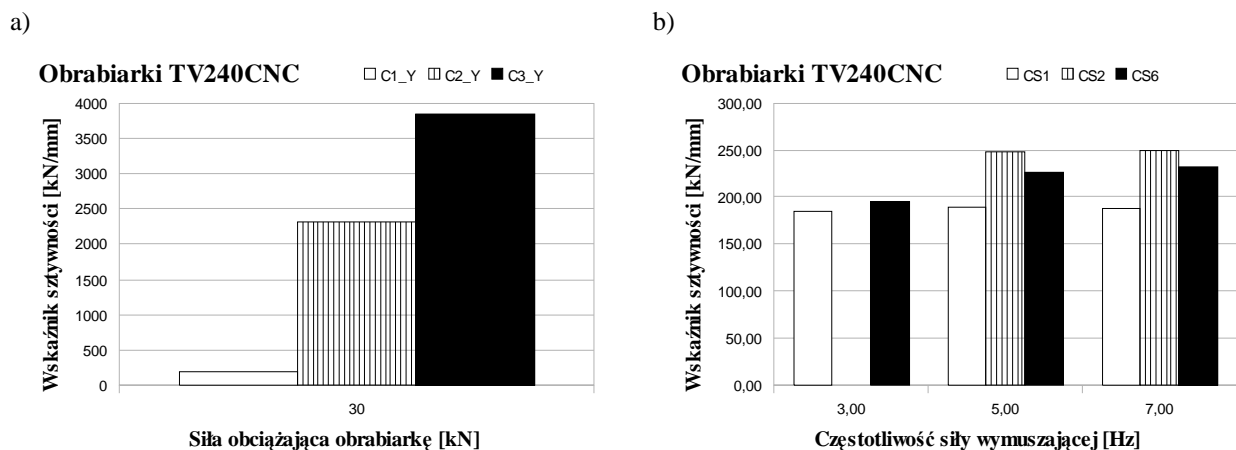
4.4. WIELOZADANIOWA TOKARKA SPECJALNA

Ostatnią prezentowaną w niniejszym artykule obrabiarką objętą badaniami sztywnościowymi była specjalna tokarka wielozadaniowa TV 240 CNC. Ze względu na specyfikę tokarki, której łożo przekraczało 30 metrów, jej badania były bardzo rozległe i obejmowały znaczną liczbę punktów pomiarowych. Na schemacie poniżej (rys. 24) przedstawiono niewielki fragment planu badań, koncentrujący się na wyznaczeniu właściwości pinoli i samego konika.

Na kolejnych wykresach naniesiono wartości wybranych wskaźników sztywności dla ww. punktów pomiarowych. Wyznaczone wartości wskaźników sztywności potwierdzają dobre właściwości sztywnościowe badanej tokarki.



Rys. 24. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych na koniku tokarki specjalnej TV 240 CNC
Fig. 24. Scheme of measurement points location on the special machine tool TV 240 CNC tailstock



Rys. 25. Wartości wskaźników sztywności statycznej obrabiarek TV240 CNC: a) metoda konwencjonalna, b) metoda DWSS

Fig. 25. Static stiffness indicator values of TV240 CNC series machine tools: a) the traditional method, b) the DDSS metod

5. PODSUMOWANIE

Przedstawione w artykule wybrane wyniki badań obrabiarek stanowią dużą bazę wiedzy dotyczącej właściwości sztywnościowych rodziny obrabiarek ciężkich. Wszystkie badania przeprowadzono w oparciu o zaproponowaną własną metodykę badań obrabiarek ciężkich, a uzyskiwane wyniki pozwalają stwierdzić, że zaproponowany tok postępowania sprawdził się podczas badań prowadzonych w warunkach przemysłowych. Przyjęty sposób przeprowadzenia badań sztywności statycznej pozwolił na wyznaczenie wybranych właściwości obrabiarki w założonym okresie czasu. Zebrane w ten sposób dane pozwoliły

na ocenę właściwości najważniejszych zespołów jak i całej obrabiarki. W dalszej perspektywie mogą one posłużyć do formułowania szczegółowych zaleceń dotyczących wymagań sztywnościowych stawianych obrabiarkom ciężkim. W artykule sformułowano takie zalecenia dla tokarskich centrów karuzelowych serii KCI-210/280 NM (tabele 5 i 6). W wyniku przeprowadzonych badań dla tokarskich centrów karuzelowych uzyskano trzy grupy informacji dotyczących:

- sztywności suwaka i połączenia przewodnicowego suwak-suport,
- sztywności całej obrabiarki reprezentującej właściwości wszystkich zespołów obrabiarki zaliczanych do obwodu siłowego UNO,
- sztywności wybranych zespołów wyznaczonej w oparciu o amplitudy przemieszczeń (DWSS).

Ponadto w oparciu o wyniki uzyskane w trakcie badań obrabiarek ciężkich można sformułować tezę, że wskaźnik sztywności statycznej wyznaczany metodą DWSS jest wielkością pośrednią pomiędzy wskaźnikiem sztywności statycznej a wskaźnikiem sztywności dynamicznej, bardziej zbliżoną do sztywności statycznej. Z tego względu nieuzasadnione jest bezpośrednio porównywanie wskaźnika sztywności DWSS ze wskaźnikiem statycznym. Siły działające podczas pracy obrabiarki (siły skrawania, siły bezwładności) mają charakter dynamicznie zmienny. Z tego względu można postulować, że miarą lepiej od wskaźnika sztywności wyznaczonego metodą konwencjonalną, opisującą sztywnościowe zachowanie się obrabiarki, może być wskaźnik sztywności wyznaczony w oparciu o metodę DWSS.

LITERATURA

- [1] KOSMOL J., ŚLIWKA J., KAŻMIERCZAK M., 2003, *Static stiffness determination of vertical lathes by means of dynamic method*, Materiały z II Międzynarodowej Konferencji "Modern Trends in Manufacturing", Wrocław luty.
- [2] KOSMOL J., ŚLIWKA J., 2003, *Powtarzalność cech statycznych obrabiarek ciężkich*, Prace Naukowe Instytutu Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej, 84, seria: Konferencje, 41, t. I, Referaty plenarne i sesyjne, Wrocław, 533-540.
- [3] KAŻMIERCZAK M., 2002, *Investigation on Method of identification of static and dynamic properties of heavy machine tools*, Proceedings of the 4th International Scientific Conference DMC, Slovakia, Kosice, 22-23 May 2002.
- [4] ŚLIWKA J., 2000, *Wyznaczanie sztywności statycznej obrabiarek metodą wymuszenia dynamicznego*, Prace Naukowe Katedry Budowy Maszyn, 2, Gliwice.
- [5] M. KAŻMIERCZAK., 2006, *Metodyka badań sztywności statycznej obrabiarek ciężkich w warunkach przemysłowych*, Rozprawa doktorska, Gliwice.
- [6] ZEWELD S., 1990, *Ocena porównawcza struktury nośnej obrabiarek ciężkich*, Rozprawa doktorska, Gliwice.
- [7] ŚLIWKA J., 1999, *Wyznaczanie sztywności statycznej obrabiarek metodą wymuszenia dynamicznego*, Rozprawa doktorska, Gliwice.
- [8] Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej, 1994, *Analiza konstrukcyjna tokarki karuzelowej KCH 250/280 NM*, Symbol pracy: NB-77/RMT-1/94 wykonanej w Katedrze Budowy Maszyn pod kierunkiem dr hab. inż. J. Kosmola Prof. Pol. Śl., Gliwice.
- [9] KOSMOL J., ŚLIWKA J., 2000, *Nowa metoda wyznaczania sztywności statycznej obrabiarek ciężkich*, Wrocławskie Sympozjum Naukowo-Techniczne, Automatyzacja Produkcji'2000 – Wiedza, Technika, Postęp, Wrocław.
- [10] KAŻMIERCZAK M., ŚLIWKA J., 2006, *Analiza sztywności statycznej układu nośnego tokarek specjalnych UBF-112N*, Prace Naukowe Katedry Budowy Maszyn, 2, Gliwice.

SELECTED RESEARCH OF HEAVY MACHINE TOOLS WORKOUT AT MACHINE TECHNOLOGY MADE IN
THE DEPARTMENT OF SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

The present article presents results of static stiffness research involving heavy machine tools that have been conducted in recent years by Machine Technology Department of Silesian University of Technology in cooperation with machine tool manufacturer RAFAMET located in Kuźnia Raciborska. The review of the static stiffness research results presented in the article (the research was carried out by the use of two alternative methods: traditional and DDSS i.e. Dynamic Determination of Static Stiffness) concerns turning and boring lathes KCI series, however it includes also research data on planer mills and turning machines.