

Andrzej TYKA¹⁾, Agnieszka TYKA²⁾

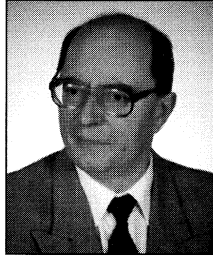
¹⁾ AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA W KRAKOWIE
KATEDRA PODSTAW BUDOWY I EKSPLOATACJI MASZYN

²⁾ BANK PRZEMYSŁOWO-HANDLOWY W KRAKOWIE

Badanie źródeł rozregulowania procesu obróbki wiórowej na tokarkach NC z zastosowaniem kart sterujących i oprogramowania SPC-QI Analyst 3.5

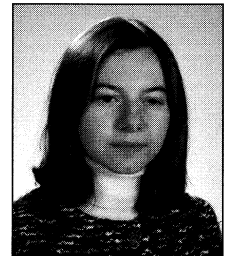
Dr inż. Andrzej TYKA

– ukończył studia magisterskie na Wydziale Maszyn AGH w Krakowie w roku 1972, obronił pracę doktorską w 1981. Jest adiunktem w Katedrze Podstaw Budowy i Eksploatacji Maszyn, Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Jego zainteresowania to metrologia w technice wytwarzania maszyn, bezstykowe pomiary chropowatości powierzchni obrabianej, metrologia w systemach jakości.



Mgr Agnieszka TYKA

– ukończyła studia w Akademii Ekonomicznej w Krakowie w roku 1997. Jest pracownikiem Banku Przemysłowo-Handlowego w Krakowie. Jej zainteresowania to analiza danych oraz zastosowanie statystycznych metod w systemach jakości.



Streszczenie

W referacie omówiono problemy związane z analizą zdolności procesu obróbki na tokarkach NC. Przedstawiono uzyskane wskaźniki zdolności maszyny i procesu oraz wybrane przebiegi różnych charakterystyk kart sterujących opracowanych z wykorzystaniem oprogramowania SPC-QI Analyst 3.5. Przedstawiono przykłady wpływu zidentyfikowanych źródeł rozregulowania procesu, prowadzonego w warunkach przemysłowych dla zróżnicowanych jakościowo obrabiarek oraz różnych operatorów produkujących seryjnie identyczne elementy maszynowe. W podsumowaniu omówiono działania i efekty związane z próbą doskonalenia procesu obróbki.

Abstract

Problems connected with the analysis of the process capacity of machining by NC lathes have been discussed. Obtained indices of the machine ability and process capacity as well as selected courses of various characteristics of control cards obtained within the frame of the application of the SPC-QI Analyst 3.5 have been presented. Examples of the influence of identified origins of decontrolling of the process conducted in industrial conditions for qualitatively varied machine tools and various operators producing identical machine elements in series have been shown. Finally, activities and effects connected with an attempt at improving the process of machining have been discussed.

Wstęp

Analiza rzeczywistych możliwości (zdolności) procesu, umożliwia ocenę zdolności dotrzymania wymagań jakościowych i jego dalsze (etapowe) doskonalenie. Pozwala to na określenie głównych przyczyn rozregulowania procesu i ich eliminowanie. W przypadku stosowania oceny procesu według cech mierzalnych, można oddzielić wpływy systematyczne od przypadkowych, tak aby poprzez odpowiednie regulacje doprowadzić do eliminacji czynników systematycznych i pozostawić proces w zakresie zmienności własnej (inherent process variability). W konsekwencji umożliwia to utrzymanie dokładności wymiarowej produkowanych elementów na założonym poziomie jakości. W idealnym przypadku uzyskania pełnej kontroli nad procesem, można spodziewać się powtarzalności wymiarowej produkowanych elementów o niewielkiej zmienności. Według zaleceń PN-ISO 3534-2 oraz w literaturze stosowane są wskaźniki zdolności jakościowej procesu [1]:

- wskaźnik zdolności procesu (C_p),
- wskaźnik zdolności jakościowej związany z wycentrowaniem (C_{pk}).

Wskaźnik zdolności jakościowej procesu C_p określany najczęściej na poziomie 6σ , uwzględnia cały proces z jego składnikami

(obsługą, materiałem wejściowym, maszyną, otoczeniem). Wskaźnik zdolności procesu jest wyznaczany w normalnych warunkach realizacji procesu. Wskaźnik zdolności jakościowej procesu C_{pk} uwzględnia oprócz naturalnej zmienności cechy, również położenie jej wartości średniej względem granic tolerancji.

Wskaźnik C_p określa więc potencjalne możliwości procesu do spełnienia wymagań jakościowych, zaś wskaźnik C_{pk} jest miarą wycentrowania procesu i jeśli $c_{pk} < c_p$ wskazuje to, że na proces działa stały czynnik, co powoduje, że średnia wartości cechy różni się od wartości nominalnej. Wymagane wartości C_p , C_{pk} przy ograniczeniu obustronnym tolerancji wynoszą powyżej 1,33.

Mierzona odpowiednimi przyrządami pomiarowymi zmienność rzeczywistych wymiarów produkowanych elementów może być również częściowo spowodowana zmiennością maszyny (obrabiarki) wyrażaną w postaci wskaźników zdolności maszyny C_p , C_{mk} oraz stosunkowo niewielkim udziałem zmienności pochodzącej od zastosowanego przyrządu pomiarowego wyrażanej wskaźnikami zdolności przyrządu pomiarowego C_q , C_{qk} .

W rzeczywistych warunkach produkcji nawet idealnie rozpoczęty proces ulega zakłóceniom, które po pewnym czasie powodują jego rozregulowanie.

Do głównych czynników, które mogą powodować rozregulowanie procesu obróbki wiórowej toczonej elementów można zaliczyć:

- pogorszenie właściwości mechanizmów nastawczych obrabiarki,
- pogorszenie właściwości układów łożyskowania wrzeciona obrabiarki,
- zmiana właściwości stereometrycznych narzędzia (stępień, itp.),
- zmiana właściwości materiału obrabianego,
- wpływ czynnika ludzkiego (operatora).

Dla umożliwienia zaobserwowania zmienności procesu i identyfikacji ewentualnych źródeł jego rozregulowania stosuje się narzędzia jakości w postaci kart sterujących (Shewartha), wskaźniki zdolności jakościowej procesu lub maszyny, które są uzasadnione najczęściej dla rozkładu normalnego. Stosuje się kilka odmian kart sterujących. Karty pojedynczych obserwacji lub karty średniej ruchomej pozwalają na badanie zdolności procesu lub maszyny. W przypadku analizy subtelnych zmian procesu przydatne mogą być: karta z ruchomą średnią czuła na trend wartości średniej oraz karta sum skumulowanych, która jest najbardziej czuła na zmianę tendencji kolejnych wartości wymiarowych dla małych wartości σ [2].

Badanie zdolności jakościowej obróbki wiórowej na tokarkach NC

Badania zmienności wymiarów w procesie obróbki wiórowej przeprowadzono w warunkach przemysłowych na czterech nowo-zainstalowanych tokarkach numerycznych TAE 25N z systemem sterowania Sinumeric. Do badań wybrano prosty geometrycznie element produkowany seryjnie o dużej dokładności i odpowiedzialności jakim jest otoczka koła zębatego nowoczesnej przekładni samochodowej. Dodatkowym aspektem była mała ilość wymiarów. Postacią wyjściową półfabrykatu była normalizowana odkuwka z otworem. Do mocowania w analizowanej operacji technologicznej zastosowano uchwyty samocentrujące ze sterowaniem hydraulicznym i profilowanymi szczękami. Jako narzędzi użyto noży z mechanicznie mocowanymi płytkami skrawającymi, które stosowano do obróbki otworu o wymiarze $d = 39,94 \pm 0,01$ mm, oraz do toczenia powierzchni czołowych odsadzeń, oraz faz 30° i 45° . Promień zaokrąglenia wierzchołka noża wynosił $r = 0,8$ mm. Wartość parametru chropowatości na powierzchni otworu $\phi 39,94$ $R_a = 3 \mu\text{m}$.

Szczegółowy program postępowania dotyczący analizy procesu można przedstawić następująco:

1. Pomiar wielkości geometrycznych przyrządami z odczytem cyfrowym i rejestracją wartości w komórkach pamięci systemu komputerowego.
2. Wizualizacja zmienności wartości mierzonego parametru w funkcji czasu lub kolejności następstw na karcie typu \bar{x} (przebiegu).
3. Stwierdzenie zgodności uzyskanych wyników pomiarów z ustalonymi granicami USL, LSL (Upper, Lower Specification Limit), Target Value (wartość docelowa):
 - ustalenie punktów (wartości) wykraczających poza granice specyfikacji,
 - stwierdzenie losowości rozrzutu punktów (wartości),
 - stwierdzenie trendów.
4. Określenie współczynnika wydolności procesu przy założeniu, że rozkład jest normalny,
5. Sporządzenie histogramów rozkładu częstości w celu stwierdzenia zgodności rozkładu danych z rozkładem normalnym:
 - stwierdzenie normalności rozkładu i współczynników,
 - różnica między średnią, a docelową,
 - asymetria rozkładu (lewostronna, prawostronna),
 - współczynnik asymetrii,
 - ilość błędów grubych,
 - ocena precyzji (rozrzutów) s ,
 - wartość kurtozy.
6. Sporządzenie kart kontrolnych pojedynczych pomiarów i ruchomych rozstępów w celu oceny procesu:
 - ocena położenia granic kontrolnych względem granic specyfikacji,
 - ocena precyzji pomiarów (wg położenia punktów),
 - ocena i ustalenie trendów,
 - ocena położenia punktów względem wartości docelowej,
 - podział wyników reprezentowanych przez kartę sterującą na podzbiory, np. ze względu na pracę dwóch różnych operatorów,
 - ponowne wyłączenie z analizy sygnałów rozregulowania i dalsza analiza współczynnika C_p .
7. Sporządzenie dla danych kart sum skumulowanych CUSUM lub kart wykładniczo ważonych średnich ruchomych EWMA oraz pełnego raportu analizy.

8. Dodatkowo można wykonać pełną analizę systemu pomiarowego wraz z oceną precyzji w warunkach powtarzalności i odtwarzalności procesu.

Należy podkreślić, że analiza wskaźników zdolności procesu w zasadzie ma sens tylko dla procesu uregulowanego. Należy więc uregulować proces w sensie fizycznym albo wyeliminować punkty odstające (wylączyć sygnały rozregulowania).

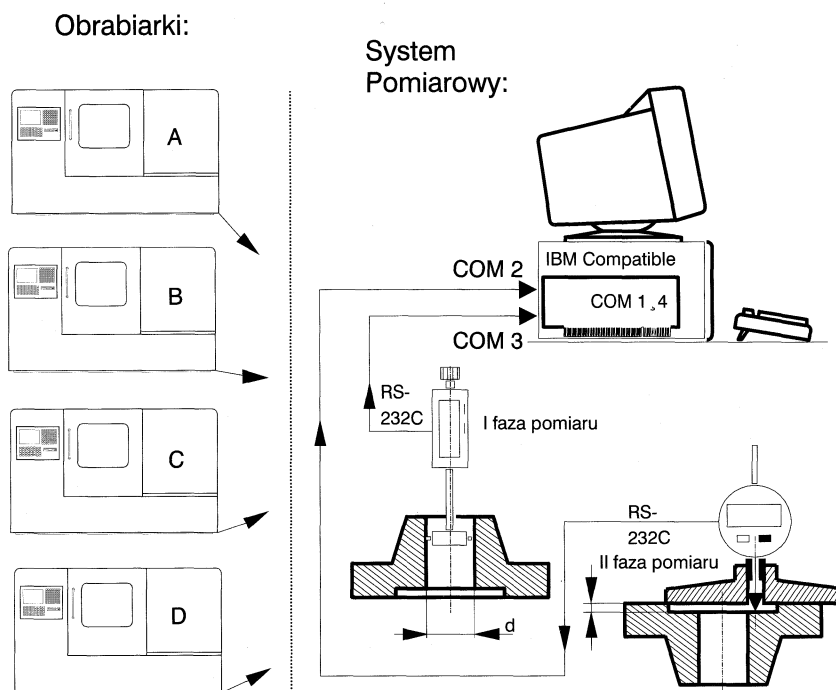
Zastosowane przyrządy pomiarowe i oprogramowanie

Badane obrabiarki oznaczono symbolami kodowymi A, B, C, D. Przeprowadzono obserwacje pomiarowe obejmujące pełny cykl dzienny tj. dwie zmiany po 8 godzin ciągłej pracy obrabiarek. Na każdej obrabiarce wykonano 150 elementów. Do pomiaru wielkości geometrycznych wykorzystano system metrologiczny wspomagany mikrokomputerem pomiarowym, w którym zastosowano elektroniczne przyrządy pomiarowe firmy TESA z wyjściem cyfrowym RS 232C. Na rys. 1 przedstawiono schemat organizacyjny stanowiska w trakcie badań.

Do analizy źródeł i zmienności procesu obróbki wiórowej na tokarkach NC, spośród różnych dostępnych programów ukierunkowanych na wykorzystanie metod i narzędzi SPC, wybrano program QI Analyst 3.5 firmy SPSS.

QI Analyst okazał się programem najbardziej praktycznym i ukierunkowanym na analizę danych jak i realizację pomiaru przyrządami z wyjściem cyfrowym (RS-232C). Program QI Analyst dysponuje praktycznie wszystkimi narzędziami statystycznej analizy danych do nadzorowania procesu metodami SPC, wśród których można wymienić:

- karty kontrolne dla zmiennych,
- karty kontrolne atrybutów,
- karty przebiegu i histogramy,
- karty Pareto.
- statystyki zdolności procesu,
- wykresy rozrzutu,
- statystyki opisowe.



Rys. 1. Schemat organizacyjny stanowiska do badań zdolności maszyny oraz procesu obróbki wiórowej kół zębatych III i IV biegu

Dla umożliwienia precyzyjnej analizy niewielkich zmienności charakterystyk badanego procesu lub maszyny, możliwe jest wykorzystanie kart pojedynczych pomiarów, ruchomych średnich, jak również najnowszych kart wykładniczo ważonych średnich ruchomych EWMA dla pojedynczych pomiarów oraz kart wykładniczo ważonych średnich ruchomych EWMA dla ważonych średnich.

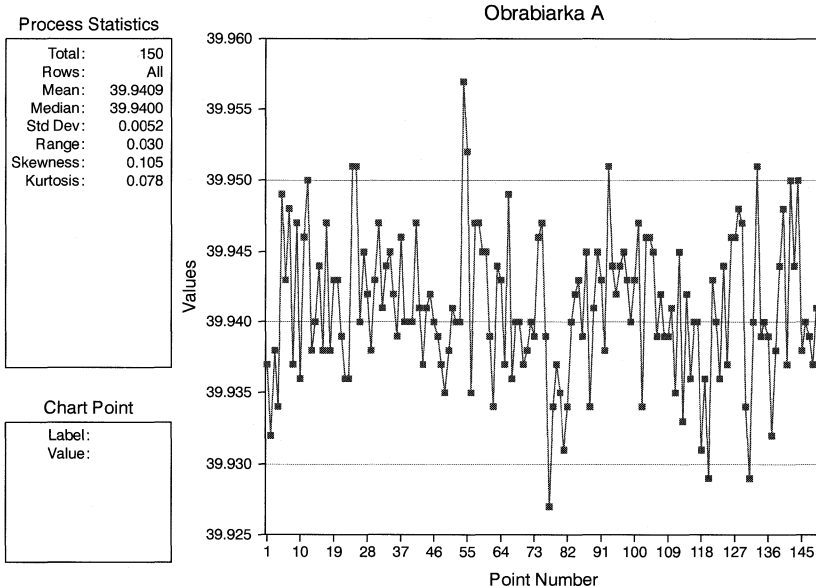
Ze względu na elastyczność i łatwość konfiguracji oraz zastosowanie mechanizmów wymiany danych DDE, a także możliwość wykorzystania specjalnego kreatora konfiguracji oprogramowania (File Setup Wizard), można skoncentrować uwagę wyłącznie na merytorycznej realizacji rozwiązywanego problemu statystycznego. Istniejąca wersja QI Analyst 3.5 DB stanowi łatwy w obsłudze, kompletny program do statystycznej kontroli procesu, pozwalający na realizację monitoringu procesu i jego kontrolę również w środowisku sieciowym.

Analiza wyników badań zmienności średnic otworów kół zębatych na tokarkach NC

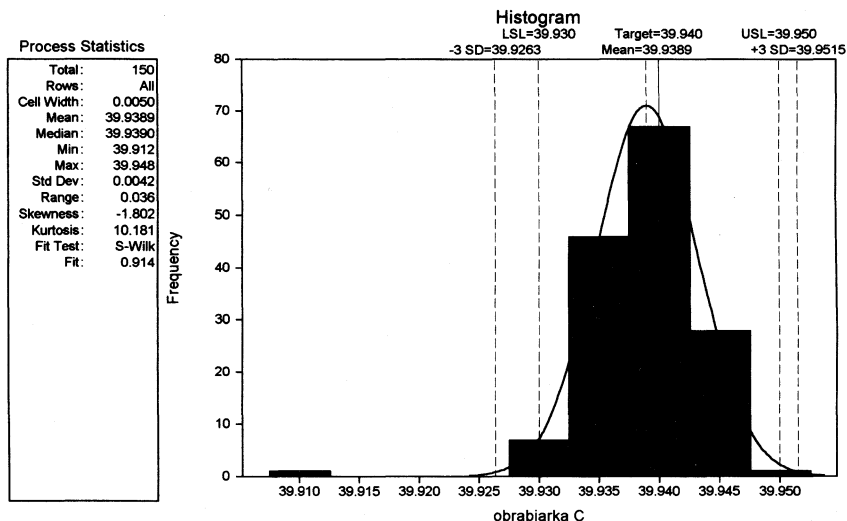
W eksperymencie dwie obrabiarki A i B były obsługiwane przez tego samego operatora na każdej zmianie. Maszyny C i D były obsługiwane przez różne osoby. Dobór wariantu pomiarowego w ustawieniu maszyn został wybrany celowo i powinien umożliwić przeanalizowanie wpływu czynnika obiektywnego związanego ze stanem technicznym maszyn, jak również próby wyeksponowania czynnika osobowego. Przyjęto w założeniach eksperymentu, że właściwości materiału oraz rozrzuty położenia wierzchołków płytek skrawających mocowanych mechanicznie są ustabilizowane.

W trakcie śledzenia procesu obróbki automatycznie zapisywano zmierzone wartości do komórek pamięci systemu mikrokomputera. Umożliwiło to utworzenie bieżących jak i końcowych kart przebiegu ($\bar{x} - R$). Pozwoliło to na stwierdzenie stopnia zgodności uzyskanych wyników pomiarów z ustalonymi granicami specyfikacji USL, LSL, Target Value (górną, dolną i docelową wartość). Każda z analizowanych kart przebiegu dla obrabiarek A, B, C i D wykazywała znaczne zróżnicowanie. Najbardziej rozrzucone co do wartości punkty wykresu zaobserwowano dla obrabiarki A. Stwierdzono losowy rozrzut punktów, w tym kilkanaście punktów poza granicami specyfikacji i dwie grupy danych oraz dwa trendy, współczynnik $C_p \approx 0,700$. Obrabiarki B, C, D charakteryzowały się znacznie mniejszymi rozrzutami. Obrabiarki B i C wykazują również dwie grupy danych, co sugeruje wpływ czynnika związanego z udziałem kolejnych operatorów. Na rys. 2 przedstawiono kartę przebiegu wartości średnicy otworu $\phi 39,940$ w ujęciu kolejnych punktów pomiarowych utworzoną w programie QI Analyst 3.5 dla obrabiarki A.

W następnej kolejności sporządzono histogramy rozkładu częstości dla danych dotyczących każdej z maszyn. Pozwoliło to na wykonanie oceny zgodności rozkładu danych z rozkładem normalnym. Dane obrabiarki A i B charakteryzowały się znacznie gorszym dopasowaniem na poziomie (0,87) w stosunku do pozostałych obrabiarek. Ogólnie obserwowano zgodność z rozkładem normalnym. Szczegółowa analiza charakterystyk tworzących histogram daje ocenę dotyczącą różnicy między średnią, a wartością docelową współczynnika asymetrii, rozrzutu (precyzji), wskaźnika – kur-



Rys. 2. Przykład karty przebiegu procesu dla oceny zmienności średnicy otworów $\phi 39,94 \pm 0,01$ mm uzyskany z zastosowaniem programu QI Analyst 3.5 dla obrabiarki A



Rys. 3. Przykład uzyskanego histogramu dla obrabiarki C z zastosowaniem programu QI Analyst 3.5

tozy. Na rys. 3 przedstawiono przykładowy wykres histogramu uzyskany przy użyciu programu QI Analyst 3.5 dla obrabiarki C.

W celu umożliwienia szczegółowej oceny procesu, a następnie oceny udziału kolejnych operatorów, zastosowano karty kontrolne pojedynczych pomiarów i ruchomych rozstępów z uwzględnieniem możliwości wyłączenia z analizy punktów poza granicami specyfikacji (ponieważ analiza wartości wskaźników zdolności ma uzasadnienie wyłącznie dla procesu uregulowanego). Program QI Analyst umożliwia łatwe wyłączanie wskazanych punktów wykresu, jak również jego podział na części. Na rys. 4 przedstawiono przykład karty kontrolnej pojedynczych pomiarów i ruchomych rozstępów dla obrabiarki C podzielonej na dwa obszary (dla różnych operatorów pracujących na dwie zmiany).

W tabeli 1 zamieszczono zestawienie uzyskanych wartości wskaźnika C_p dla zróżnicowanych jakościowo przykładowych obrabiarek. Porównanie wartości wskaźników dla wszystkich punktów wykresu i procesu z wyłączonymi punktami leżącymi poza granicami specyfikacji daje pogląd na możliwości tzw. doskonalenia procesu. Należy podkreślić, że w praktycznych warunkach w doskonaleniu procesu mają udział zarówno rozrzuty, jak i wycentrowanie wartości wymiarów.

Tab. 1. Zestawienie wartości wskaźnika C_p dla zróżnicowania wydajności jakościowej obrabiarek

Obrabiarka	Dane ze wszystkich punktów wykresów	Dane dla procesu ustalonego
A	0,703	0,705
B	1,438	2,043
C	1,155	1,273
D	1,650	2,153

Po wykonaniu analizy wszystkich kart pojedynczych pomiarów i ruchomych rozstępów ich wyniki zestawiono w tabeli 2. Zamieszczono w niej wartości δ odchylenia od wartości docelowej (dokładności) oraz odchylenia standardowego s (precyzji) w ujęciu umożliwiającym wyeksponowanie czynnika osobowego operatorów tokarek.

W przyjętych warunkach eksperymentu operator I obsługiwał tokarki A i B na pierwszej zmianie, a operator II te same obrabiarki na drugiej zmianie. Zakładając, że zaistniały istotne zmiany w procesie obróbki można sądzić, że operator I był znacznie bardziej precyzyjny niż operator II, pomimo silnego wpływu wyraźnego złego mechanizmu nastawczego obrabiarki A. Można wiązać to ze zróżnicowaną strategią działania operatorów w trakcie wymiany ostrzy płytek skrawających oraz nastaw systemów korekcyjnych obrabiarek. W programie QI Analyst istnieje możliwość opisanego bezpośrednio obok sygnałów rozregulowania również podjętych działań korygujących. W przypadku analizy niewielkich sygnałów rozregulowania celowe może być sporządzenie dla tych danych kart wykładowo ważonych średnich ruchomych EWMA lub kart sum skumulowanych CUSUM.

Podsumowanie

Badanie czynników wpływających na rozregulowanie procesu obróbki, oraz możliwości praktycznego wykorzystania obliczonych wartości wskaźników zdolności jakościowej procesu, wymagają zastosowania zarówno elektronicznych środków pomiarowych z odczytem cyfrowym, jak również systemu akwizycji danych połączonego z odpowiednim oprogramowaniem do statystycznej analizy danych. Wszystkie te uwarunkowania spełnia program QI Analyst firmy SPSS, który może być zainstalowany na komputerze klasy PC, do którego podłączone są elektroniczne przyrządy pomiarowe. Pozwala to na stosunkowo proste i tanie rozwiązanie problemów metrologicznych i skupienie uwagi na zmienności analizowanego procesu produkcyjnego. W wyniku przeprowadzonych badań stosunkowo łatwo uzyskano możliwość wychyczenia najważniejszych czynników determinujących stabilność procesu obróbki wiórowej na tokarkach NC – stanu maszyny i przygotowania operatora (strategii obsługi systemu korekcji wymiarów uwzględniającej zużycie i wymianę narzędzia).

Tab. 2. Zróżnicowanie wpływu czynnika osobowego (operatorów) z uwzględnieniem wskaźników dokładności i precyzji

	Obrabiarka							
	A		B		C		D	
	Oper I	Oper II	Oper I	Oper II	Oper III	Oper IV	Oper V	Oper VI
Odchylenie od wartości docelowej δ	0,0018	0,0007	0,0070	0,0009	0,0008	0,0020	0,0019	0,0011
Odchylenie standardowe s	0,0052	0,0060	0,0025	0,0041	0,0047	0,0042	0,0027	0,0025
C_p	0,703	0,665	1,455	1,442	1,085	1,157	1,290	1,682

δ - dokładność (różnica między wartością średnią, a wartością docelową), s - precyzja (odchylenie standardowe)

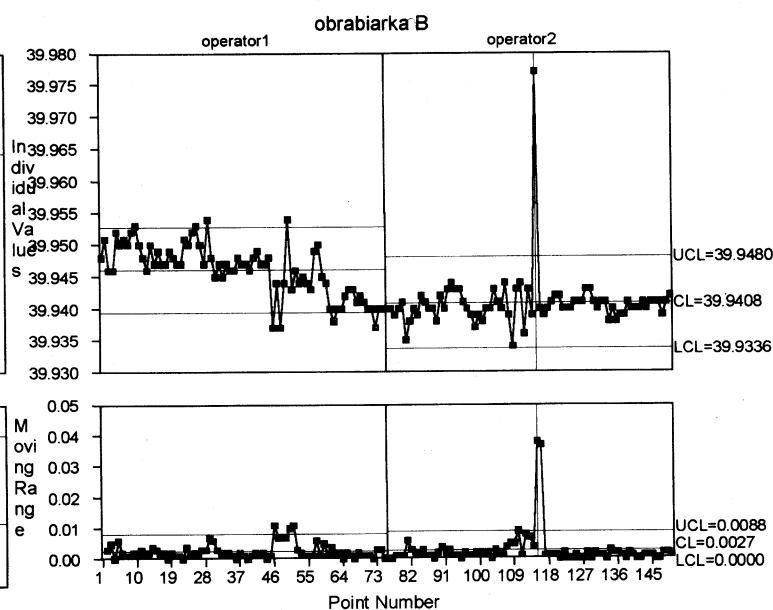
Przedstawione w referacie wyniki badań upoważniają do stwierdzenia, że każda nowozainstalowana obrabiarka NC powinna być poddana ocenie statystycznej, a także operatorzy tych obrabiarek mogą być ocenieni również na podstawie analizy statystycznej oraz szkoleni pod kątem poprawy nawyków związanych ze strategią nastaw układów korekcji narzędzi skrawających.

Process Statistics

Total :	150
Rows :	All
X-Bar :	39.9435
Est Sigma :	0.0023
Std Dev :	0.0051
CpM :	0.800
CpK :	0.942
CP :	1.442
CR :	0.693
CpU :	0.942
CpL :	1.942
K :	0.347
Set CP :	1.392
Set CpK :	1.277

Chart Point

Label :	115
X :	39.977
X UCL :	39.9480
X CL :	39.9408
X LCL :	39.9336
MR :	0.038



Rys. 4. Przykład karty pojedynczych pomiarów i ruchomych rozstępów wartości toczzonego otworu $\phi 39,94 \pm 0,01$ mm w ujęciu kolejności elementów z podziałem obszaru analizy dla dwóch operatorów

Literatura

- [1] A. HAMROL, W. MANTURE: Zarządzanie jakością. Teoria i praktyka. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1998.
- [2] J. THOMPSON, J. KORONACKI: Statystyczne sterowanie procesem. Metoda Deminga etapowej optymalizacji jakości. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1994.
- [3] Materiały i instrukcje programu QI Analyst 3.5 SPSS.
- [4] Materiały i instrukcje TESA, TAL – Software Wedge.