

Dr hab. inż. Tadeusz SALACIŃSKI,
prof. PW (Politechnika Warszawska):

NADZOROWANIE PROCESÓW OBRÓBKI SKRAWANIEM Z WYKORZYSTANIEM METROLOGII ORAZ SYSTEMÓW SPC I MSA

Streszczenie

Współczesne procesy obróbki skrawaniem, jako najbardziej rozpowszechnione w technologii maszyn, muszą podlegać ciągłemu nadzorowaniu. W tym celu stosuje się narzędzia metrologii technicznej do pozyskiwania i archiwizowania wyników pomiarów oraz metody analizy stabilności i zdolności procesów (SPC), jak również metodę analizy przydatności systemów pomiarowych (MSA). W artykule przedstawiono procedurę postępowania w trakcie nadzorowania procesów obróbki skrawaniem z wykorzystaniem wymienionych metod, ze szczególnym uwzględnieniem adaptacyjnych kart kontrolnych.

Słowa kluczowe: *metrologia, SPC, MSA, karty kontrolne*

SUPERVISION OF METAL CUTTING TECHNOLOGY PROCESSES WITH USE OF METROLOGY AND SPC AND MSA SYSTEMS

Abstract

Contemporary metal cutting processes – as the most common in machine building industry – must be the subject of continuous supervision. Tools of technical metrology are used for this purpose to collect and file measurement results as well as stability analysis methods and process capability methods (SPC) together with methods of analysis of suitability of measurement systems (MSA). This paper presents procedure of metal cutting technology process supervision using methods mentioned above with special enhance on adaptative control charts.

Keywords: *metrology, SPC, MSA, control charts*

NADZOROWANIE PROCESÓW OBRÓBKI SKRAWANIEM Z WYKORZYSTANIEM METROLOGII ORAZ SYSTEMÓW SPC I MSA

Tadeusz SAŁACIŃSKI¹

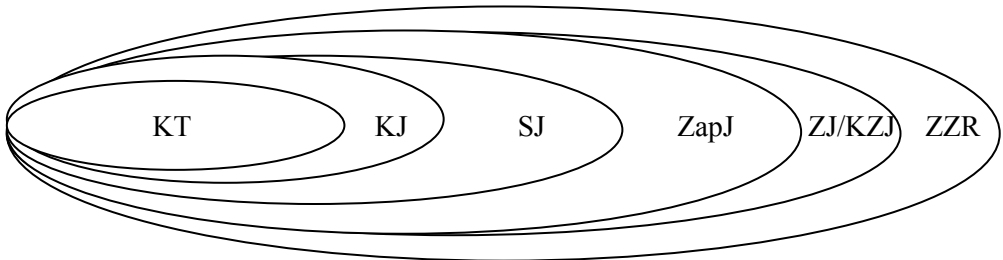
1. WSTĘP

Współczesne procesy obróbki skrawaniem, jako najbardziej rozpowszechnione w technologii maszyn, muszą podlegać ciągłej kontroli i nadzorowaniu. Rozwój systemów kontroli, zapewniania i zarządzania jakością rozpoczął się wraz z zapoczątkowaniem rewolucji przemysłowej w Anglii, na przełomie XVIII i XIX w., w miarę kształtowania się struktur organizacyjnych przemysłu. Historycznie ujmując, służby jakości w przedsiębiorstwach były tworzone głównie przez osoby pełniące nadzór nad produkcją, czyli przez mistrzów i inżynierów. Z drugiej strony rozwój systemów kontroli, zapewniania i zarządzania jakością postępuje równolegle z rozwojem takich dyscyplin naukowych, jak: organizacja i zarządzanie, statystyka matematyczna, ekonomia, teoria systemów, informatyka, cybernetyka, ergonomia, psychologia i inne. Poczynając od okresu produkcji rzemieślniczej do obecnych czasów, w rozwoju tym można wyróżnić następujące charakterystyczne systemy kontroli, zapewniania i zarządzania jakością [1] (rys. 1):

- kontrola techniczna (KT) – system wykrywania wad produkcyjnych,
- kontrola jakości (KJ) – system wykrywania wad wyrobów i części,
- sterowanie jakością (SJ) – system zapobiegania wadom,
- zapewnienie jakości (ZapJ) – system zewnętrznego potwierdzania zdolności organizacji do spełniania określonych wymagań,

¹Politechnika Warszawska, Instytut Technik Wytwarzania, 02-524 Warszawa, ul. Narbutta 85

- zarządzanie jakością (ZJ) – system zewnętrznego potwierdzania zdolności organizacji do spełniania określonych wymagań oraz ciągłego doskonalenia,
- kompleksowe zarządzanie jakością (KZJ) – zintegrowane systemy zarządzania jakością, środowiskiem, BHP oraz własne modele doskonałości (TQM, Foundation for Quality Management, Toyota Production System, Faurecia Excellence System, Flextronic Demand Flow Technology itd.),
- zarządzanie zrównoważonym rozwojem w przedsiębiorstwie (ZZR).



Rys. 1. Zakresy aspektów jakości obejmowane przez kolejne systemy kontroli, zapewniania i zarządzania jakością (źródło: [1])

Jak widać z powyższego kontrola i sterowanie jakością procesów technologicznych odgrywają niesłychanie ważną rolę nie tylko w obszarze przedsiębiorstwa, ale również w zrównoważonym rozwoju gospodarki narodowej. Aby móc skutecznie nadzorować (monitorować i diagnozować) procesy należy stosować nowoczesne narzędzia metrologii do pozyskiwania i archiwizowania wyników pomiarów oraz metody analizy stabilności i zdolności procesów (SPC) jak również metodę analizy przydatności systemów pomiarowych (MSA). Stosowanie technik i narzędzi statystycznych ma szczególne znaczenie w produkcji wielkoseryjnej i masowej, gdzie wczesne wykrycie rozregulowania procesów skutkuje niską frakcją braków i wysoką jakością wyrobów. Bezwzględny wymogiem stosowania ww. metod jest sytuacja, w której przedsiębiorstwo posiada certyfikowany system zarządzania jakością (np. ISO 9000) lub gdy wymaga tego klient.

2. KONCEPCJA KWALIFIKACJI OPERACJI PROCESU TECHNOLOGICZNEGO

Kwalifikacja procesu technologicznego (tzn. jego ocena) odbywa się w trzech fazach. Polega ona na ocenie stabilności oraz zdolności systemu pomiarowego, maszyny, a następnie procesu technologicznego, wobec wymagań dotyczących specyfikacji (tolerancji). Ocena realizowana jest na bazie kart kontrolnych oraz tzw. wskaźników zdolności odnoszących naturalny rozrzut procesu i jego wartość średnią do granic

specyfikacji i wartości docelowej, którą najczęściej jest środek przedziału tolerancji. Koncepcję takiego systemu kwalifikacji pokazano na rys. 2. Pełną analizę oceny procesu na bazie kart kontrolnych i wskaźników wyspecyfikowanych na rys. 2 można znaleźć w monografii autora [9,10].

We współczesnych przedsiębiorstwach przemysłu maszynowego, wobec bardzo wysokich wymagań stawianych wytwarzanym wyrobom w aspekcie ich dokładności, wykazana być musi stabilność i zdolność środków kontrolno-pomiarowych. Klienci przedsiębiorstw produkcyjnych często wręcz wymagają dowodu przydatności narzędzi pomiarowych w poszczególnych operacjach procesu. Bezwzględną koniecznością staje się okazanie takiej przydatności w przypadku produkcji opartej na certyfikowanych systemach zarządzania jakością (np. ISO 9000, ISO/TS 16949). W tym celu stosuje się tzw. metodę MSA (ang. Measurement System Analysis - Analiza Systemów Pomiarowych), dysponującą szeregiem procedur oceny przydatności systemu pomiarowego.

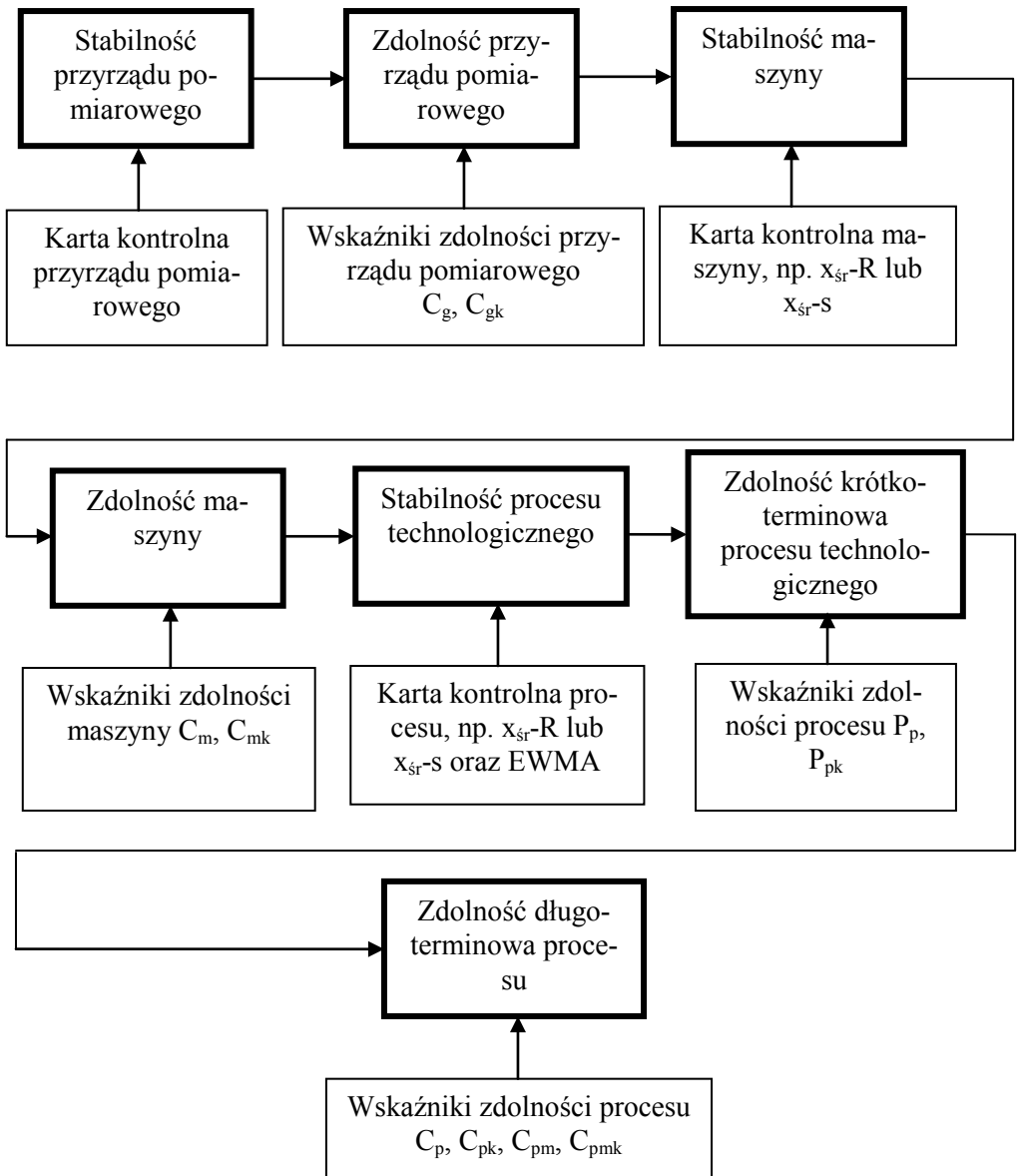
Według normy PN-EN ISO 10012 (Systemy Zarządzania Pomiarami. Wymagania dotyczące procesów pomiarowych i wyposażenia pomiarowego), skuteczny system zarządzania pomiarami zapewnia, że wyposażenie pomiarowe i procesy pomiarowe są przystosowane do ich zamierzonego użycia i ma istotne znaczenie w osiąganiu celów dotyczących jakości wyrobu i zarządzaniu ryzykiem niepoprawnych wyników pomiarów. Zadaniem systemu zarządzania pomiarami jest zarządzanie ryzykiem dotyczącym tego, że wyposażenie pomiarowe i procesy pomiarowe mogłyby doprowadzić do niewłaściwych wyników wpływających na jakość wyrobów danej organizacji. Metody stosowane w systemie zarządzania pomiarami obejmują zakres od podstawowej weryfikacji wyposażenia do zastosowań technik statystycznych w sterowaniu procesem pomiarowym [14].

Jedną z podanych w ISO 9000 zasad zarządzania dotyczy podejścia procesowego. Zaleca się, by procesy pomiarowe były rozważane jako określone procesy mające na celu wspomaganie jakości wyrobów produkowanych przez organizację. Zastosowanie modelu systemu zarządzania pomiarami zgodnego z normą PN-EN ISO 10012 zostało przedstawione na rys. 3 [14]. Zgodnie z tym modelem (rozdział 7 normy) procesy pomiarowe muszą być metrologicznie potwierdzone.

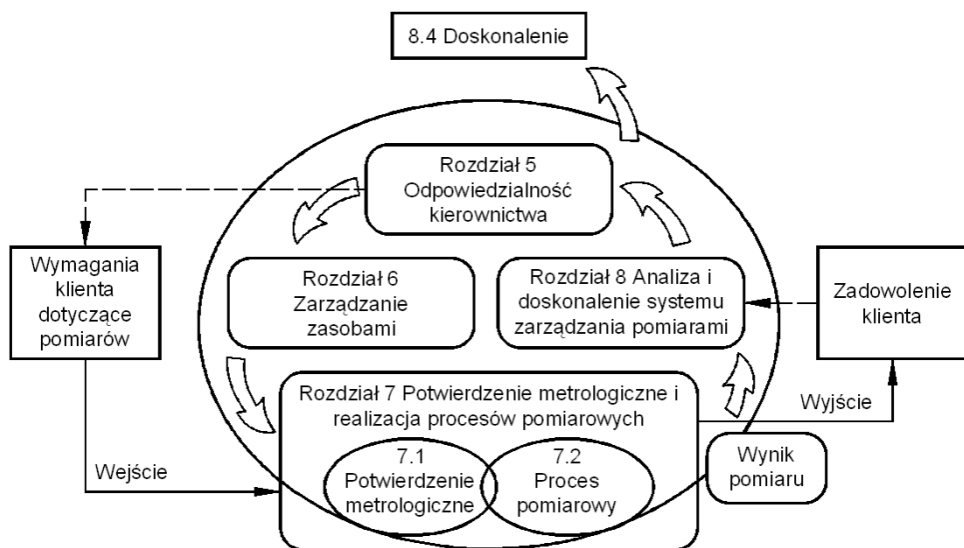
Jak przedstawiono na rys. 2 kluczowym narzędziem do analizy stabilności procesu jest tzw. karta kontrolna. We współczesnym przemyśle stosuje się jedynie podstawowe typy takich kart jak $\bar{x}_{sr}-R$, $\bar{x}_{sr}-s$, ruchomej średniej lub sum skumulowanych. Praktycznie nie uwzględnia się pewnych zmiennych warunków procesu, które wymagają stosowania kart o zmiennych parametrach, takich jak licznosci pobieranych z procesu próbek, czasookres ich pobierania oraz położenie granic kontrolnych względem linii centralnej. Współcześnie tak rozumiane karty uznawane są za nietypowe. Karty takie stosuje się w sytuacjach, w których analiza procesu na bazie standardowych, znanych kart, może prowadzić do poważnych błędów. Współcześnie technika nietypowych kart jest słabo rozpoznana i nie ma zastosowania w praktyce, będąc niestety obszarem nielicz-

nych badań naukowych. W poniższych rozdziałach, analiz literaturowych oraz badań autora w tym zakresie.

w zarysie, pokazano wyniki



Rys. 2. Koncepcja systemu kwalifikacji procesów pomiarowych, maszyn i procesów technologicznych (źródło: opracowanie własne)



Rys. 3. Model systemu zarządzania pomiarami zgodnie z normą PN-EN ISO-10012: Systemy Zarządzania Pomiarami. Wymagania dotyczące procesów pomiarowych i wyposażenia pomiarowego

2.1. KARTY KONTROLNE ZE ZMIENNĄ LICZNOŚCIĄ PRÓBEK

We współczesnym nazewnictwie karty takie należą do tzw. kart adaptacyjnych, w których zmienne liczności próbek skutkują zmianą położenia granic kontrolnych. Obecnie pojęcie kart adaptacyjnych należy rozszerzyć o karty ze zmiennymi okresami próbkowania oraz asymetrycznymi (a więc również zmiennymi) granicami kontrolnymi. Na karcie uwzględniającej zmienną licznosc próbek zaznacza się tzw. linie progowe (ostrzegawcze) w odległości $\pm 2\sigma$ od linii centralnej (σ - odchylenie standardowe procesu). Jeżeli punkt znajduje się pomiędzy wyznaczonymi liniami progowymi, kolejna próbka pobierana jest o liczności mniejszej, natomiast w przypadku przekroczenia linii progowej, ale nadal wewnątrz granic kontrolnych, pobierana jest próbka o liczności większej od wyjściowej. Granice kontrolne karty zmieniają swoje położenie w zależności od pobieranej aktualnie liczności próbek i adaptują się do poziomu będącego funkcją aktualnej wartości diagnozowanej cechy.

2.2. KARTY KONTROLNE ZE ZMIENNYM OKRESEM PRÓBKOWANIA

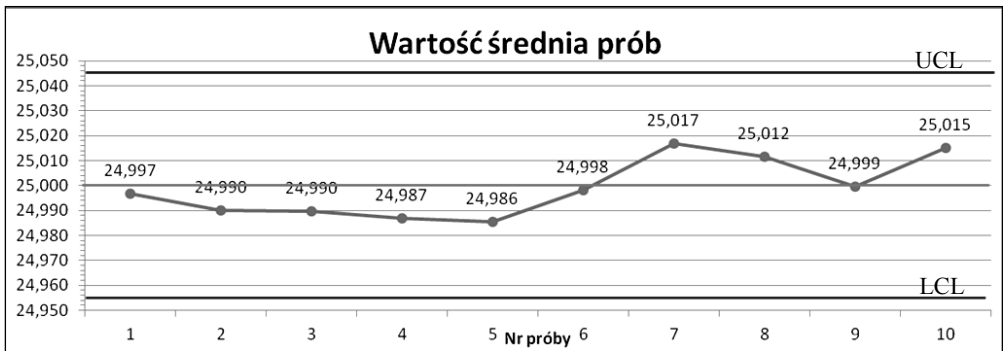
W tradycyjnym podejściu karta kontrolna tworzona jest na podstawie próbek pobieranych w stałych, określonych odstępach czasowych. Jeśli punkty na karcie kontrolnej zbliżają się do granic interwencji, istnieje niebezpieczeństwo, że kolejne punkty wykrócą poza granice kontrolne określające przedział naturalnej zmienności procesu. Ważne

jest szybkie wykrywanie zmian w procesie, dlatego istotne jest również szybkie pobranie kolejnej próbki, np. w ciągu kolejnych 10 minut, a nie oczekiwanie na kolejną próbkę z regularnego cyklu. Jeśli punkty oscylują wokół linii centralnej w jej pobliżu, korzystne może okazać się zastosowanie dłuższego niż standardowy, odstępu między kolejnymi próbkami. Podsumowując, proponowany proces kontroli polega na określeniu odstępu czasowego do pobrania kolejnej próbki w zależności od wyniku aktualnego wskazania. Odstęp będzie krótszy, jeżeli istnieje podejrzenie rozregulowania procesu, a dłuższy, jeśli podejrzenie takie nie występuje. Problem określenia planu próbkowania ze zmiennym okresem był badany przez naukowców, których prace zestawiono w pozycjach literatury [2,8]. Z przeprowadzonych badań można wywnioskować, że karta ze zmiennym okresem próbkowania jest skuteczniejsza niż karta ze stałym okresem próbkowania. W pierwszym kroku badano wpływ liczby przedziałów na skuteczność kart. Można zauważyć, że zbyt duża liczba przedziałów wpływa na wydłużenie czasu do pojawienia się sygnału. Badania wykazały również, że najefektywniejsze wyniki uzyskuje się przy zastosowaniu dwóch przedziałów czasowych ze znaczną różnicą między długościami okresów próbkowania. Zbyt duża liczba przedziałów czasowych nie polepszyła skuteczności karty, a jedynie zwiększała liczbę pobranych próbek, co jest niekorzystne ze względu na koszt wykonywanych pomiarów.

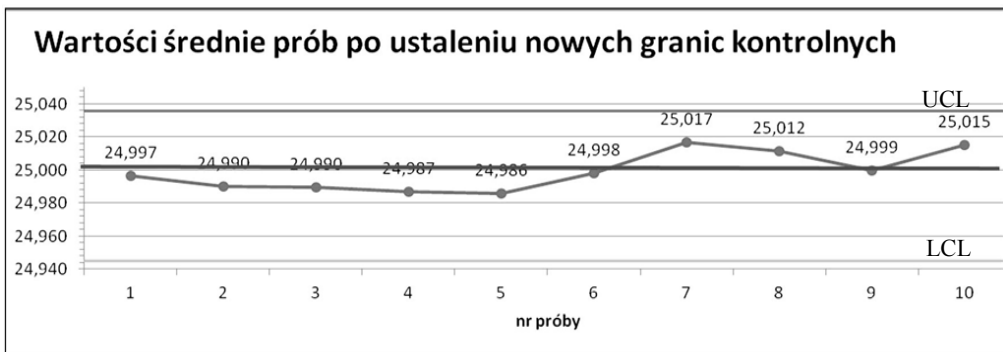
2.3. KARTY KONTROLNE O ASYMETRYCZNYCH GRANICACH

Istotą kart kontrolnych z granicami asymetrycznymi jest adaptacja położenia linii kontrolnych do charakterystycznej asymetrii procesu. Przykładowo, jeżeli częstotliwość występowania przesunięć średniej w kierunku linii dolnej jest większa niż w kierunku linii górnej (rys. 4), to należy liczyć się z pojawieniem się większej liczby fałszywych alarmów poniżej linii dolnej. W takiej sytuacji górna granica kontrolna zostaje „zaostrzona”, czyli przesunięta bliżej linii centralnej, zaś dolna granica kontrolna zostaje oddalona od linii centralnej. W rezultacie siła wykrywania fałszywych alarmów jest jednakowa dla obu granic kontrolnych.

Na rys. 5 przedstawiono karty po ustaleniu nowego położenia granic kontrolnych, które uwzględniają specyficzny przebieg procesu. Według [13] karty z adaptowanym położeniem granic charakteryzują się prawie trzykrotnie większą skutecznością wykrywania sygnałów rozregulowania niż tradycyjne karty Shewharta.



Rys. 4. Karta kontrolna wartości średnich próbek \bar{x}_{sr} procesu szlifowania wałków przed korekcją położenia granic kontrolnych, LCL i UCL - dolna i górna granica kontrolna (źródło: opracowanie własne)



Rys. 5. Karta kontrolna wartości średnich próbek \bar{x}_{sr} w procesie szlifowania wałków po ustaleniu nowych granic kontrolnych (źródło: opracowanie własne)

3. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono koncepcję nadzorowania kluczowych operacji procesu technologicznego, ze szczególnym uwzględnieniem nowego typu kart kontrolnych. Przeprowadzone badania dowiodły, że stosowanie nietypowych kart kontrolnych w przebiegach procesów obróbki skrawaniem jest niezbędne. Wykorzystanie standardowych narzędzi, takich jak np. karty kontrolne Shewharta, jest skuteczne w sytuacjach, w których na proces nie wpływają czynniki niewykrywalne i nie rozpoznawalne. Złożoność procesów obróbki skrawaniem i dynamiczne warunki ich przebiegów wymagają uwzględnienia zmienności parametrów kart kontrolnych, takich jak liczności próbek, czasookresy ich pobierania oraz położenie granic kontrolnych na kartach. W sytuacjach, w których procesy nie przebiegają w typowy sposób, należy

stosować bardziej wyrafinowane techniki i narzędzia, które uchronią przed mylną ich interpretacją. Współcześnie w praktyce produkcyjnej stosuje się liczne typy kart, niejednokrotnie dobierając je nieprawidłowo, dlatego celem dalszych prac autora będzie zaprojektowanie jednej uniwersalnej inteligentnej karty kontrolnej o charakterze dynamicznym, uwzględniającej specyfikę procesu, której implementacja nie będzie stanowiła większego problemu.

LITERATURA

- [1] BAGIŃSKI J., *Jakość w zrównoważonym rozwoju przedsiębiorstwa*, Warszawa, Wyd. Centralnego Ośrodka Badawczo - Rozwojowego Przemysłu Poligraficznego, 2012.
- [2] Bai D.S., Lee K.T., *An economic design of variable sampling interval X control charts*, Int. J. Production Economics 54, 1998.
- [3] CICHOSZ P., *Narzędzia skrawające*, Warszawa, WNT, 2006.
- [4] DEMSKI T., *Jak wdrożyć metody SPC dla całego przedsiębiorstwa ?*, Warszawa, Materiały Seminarium Statystyka w Przemysle, StatSoft, 1999.
- [5] DIETRICH E., SCHULZE A., *Metody statystyczne w kwalifikacji środków pomiarowych, maszyn i procesów produkcyjnych*, Warszawa, Notika System, 2000.
- [6] GAWLIK J., PLICHTA J., ŚWIĆ A., *Procesy produkcyjne*, Warszawa, PWE, 2013.
- [7] OBORSKI P., *Kierunki rozwoju zintegrowanych systemów monitorowania procesów obróbki skrawaniem*, Mechanik nr 8-9/2014, str. 591-598.
- [8] Reynolds M.R. Jr., Amin R.W., Arnold J.C., Nachlas J.A., *X Charts With Variable Sampling Intervals*, TECHNOMETRICS, Vol. 30, No. 2., 1988.
- [9] SAŁACIŃSKI T., *SPC - Statystyczne sterowanie procesami produkcji*, Warszawa, OWPW, 2009.
- [10] SAŁACIŃSKI T., *SPC - Statistical process control*, Warszawa, OWPW, 2015.
- [11] SAŁACIŃSKI T., *Analiza zdolności narzędzi i systemów pomiarowych*, Wrocław, Kwartalnik Inżynieria Maszyn, 2012.
- [12] SAŁACIŃSKI T., *Ocena stabilności i zdolności narzędzi pomiarowych stosowanych w przemyśle maszynowym*, Inowrocław, Kwartalnik Techniczny Obróbka Metalu, Tom 1, 2013.
- [13] Zhang Wu, Qinan Wang, *Optimization of joint X and S control charts with asymmetric control limits*, Nanyang Technical University, Singapore, 1997.
- [14] PN-EN ISO-10012: *Systemy Zarządzania Pomiarami. Wymagania dotyczące procesów pomiarowych i wyposażenia pomiarowego*.