

# KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE BIEŻĄCEJ OCENY PRZYDATNOŚCI SYSTEMU POMIAROWEGO STOSOWANEGO W PROCESIE WYTWARZANIA

Magdalena DIERING, Edward PAJĄK

**Streszczenie:** W artykule opisano autorską metodę bieżącej oceny przydatności systemu pomiarowego stosowanego do monitorowania procesu wytwarzania. Zaprezentowano jej podstawowe założenia, wskazano na jej zalety. Zasadniczą częścią artykułu jest przedstawienie wspomagającej pracę inżyniera jakości implementacji komputerowej dla zaproponowanej metody w postaci odpowiednio przygotowanego arkusza kalkulacyjnego w programie Microsoft Excel 2007.

**Słowa kluczowe:** pomiar, system pomiarowy, karty kontrolne, wskaźnik  $%R\&R$ .

## 1. Wprowadzenie

System pomiarowy w obszarze zarządzania jakością to pojęcie opisujące zbiór fizycznych i abstrakcyjnych elementów, wzajemnie ze sobą powiązanych i synergicznie współdziałających, niezbędnych do realizacji procesu pomiarowego. Główną funkcją systemu pomiarowego jest realizacja procesu pomiarowego [1].

Obserwowany rozkład wartości cechy danego procesu wytwarzania jest sumą zmienności rzeczywistej tej cechy oraz zakłóceń wnoszonych przez zmienność procesu pomiarowego. Wiedzę o składnikach tej sumy można wydobyć, monitorując ich przebieg w czasie i korzystając z metod i narzędzi statystycznych. Procesy pomiarowe należy nadzorować, by mieć pewność, że dane zbierane są rzetelnie. Pozwoli to potwierdzać na bieżąco przydatność stosowanego w produkcji systemu pomiarowego. Zrozumienie zmienności wynikającej z oddziaływania czynników składowych systemu pomiarowego oraz poznanie jej udziału w całkowitej zmienności obserwowanej ma fundamentalne znaczenie dla decyzji podejmowanych na podstawie wyników pomiarów o procesie wytwarzania czy produkowanych wyrobach i w rozwiązywaniu podstawowych problemów w procesie produkcyjnym.

Podczas eksploatacji system pomiarowy może ulegać zużyciu (przez przypadkowe uszkodzenia i/lub naturalne starzenie), a także rozregulowaniom, powodowanym przez dalekie od statycznych, zmieniające się warunki pracy na hali produkcyjnej. Badań systemu pomiarowego w praktyce dokonuje się najczęściej w laboratoriach pomiarowych lub po zatrzymaniu linii produkcyjnej i zgodnie z harmonogramem ich realizacji. Harmonogram taki zwykle obejmuje jedno badanie rocznie. W przypadku, gdy w ciągu roku uzyskuje się tysiące i więcej pomiarów, trudno mówić o „opanowanej”, ciągłej zdolności czy sprawności systemu pomiarowego, który nie jest analizowany w warunkach jego użytkowania. Na tej podstawie uznano za zasadne opracowanie metody oceny przydatności, jak również sposobu weryfikacji „stanu jakościowego” systemu pomiarowego w warunkach jego stosowania. Ocena taka powinna być oparta o identyfikację właściwości charakteryzujących ten system, których oddziaływanie

na proces pomiarowy zaobserwować można podczas jego użytkowania i porównanie ich wartości z wymaganiami (w specyfikacjach, normach itp.). Wynikiem takiej oceny będzie odpowiedź na pytanie, czy dany system pomiarowy jest nadal odpowiedni do realizacji założonego dla niego zadania – w sensie statystycznym system pomiarowy powinien być stabilny, zdolny i przewidywalny.

Analiza systemu pomiarowego to ocena jego zdolności krótko- lub długoterminowej (sprawności). Ocena stosowanego systemu do określonego zadania opiera się w praktyce na monitorowaniu i szacowaniu wartości wybranych jego właściwości (na przykład powtarzalności i odtwarzalności) i ocenie ich stabilności w sensie statystycznym.

## 2. Metoda bieżącej oceny przydatności systemu pomiarowego stosowanego w procesie wytwarzania

Opracowaną metodę bieżącej oceny przydatności systemu pomiarowego nazwano metodą *online*. Jej idea zakłada, że analizę systemu pomiarowego można wdrożyć w statystyczne sterowanie procesem wytwarzania. Założenie to pozwala na bieżące monitorowanie stanu jakościowego zatwierdzonego systemu pomiarowego, co z kolei stwarza możliwość bieżącego nadzorowania precyzji tego systemu (łącznej powtarzalności i odtwarzalności) oraz trendów. Poza tym, badanie systemu pomiarowego metodą *online* zakłada wykorzystanie się już istniejących z procesu wytwarzania danych.

Metoda znajduje zastosowanie dla dwóch operatorów w systemach pomiarowych stosowanych dla procesów wytwarzania statystycznie uregulowanych (tam, gdzie wdrożone są karty kontrolne dla cech mierzalnych).

W porównaniu do metod ARM (ang. *Average Range Method*, metoda średniej i rozstępu) czy ANOVA (ang. *ANalysis Of VAriance*, analiza wariancji), średnią z kolejnych powtórzeń pomiaru na tej samej części w metodzie *online* zastąpiono średnią z próbki pięciu kolejnych części. Zmianę tą uzasadniają płynące z niej korzyści: estymacja jakości systemu pomiarowego w oparciu o więcej informacji jednocześnie przy łącznie mniejszej liczbie niezbędnych w tym celu pomiarów, „bezpieczniejsza” ocena systemu pomiarowego oraz „wyszczuplenie” czynności przygotowawczych do badania systemu pomiarowego przez eliminację oznaczania każdej z mierzonych części i czasu potrzebnego na zgromadzenie części obrazujących cały zakres zmienności procesu wytwarzania.

Do monitorowania precyzji systemu pomiarowego metodą *online* można zastosować narzędzia graficzne – karty kontrolne. Proponuje się tutaj opracowane przez autorkę artykułu dwie nowe karty – kartę różnic średnich AD (ang. *AD-chart – Average Difference chart*) oraz kartę wskaźnika %R&R (ang. *%R&R index chart*).

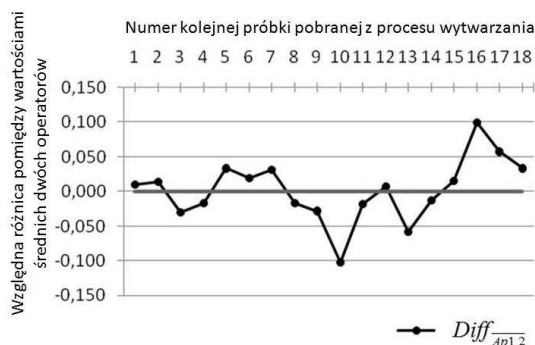
Celem karty AD jest monitorowanie na bieżąco przydatności systemu pomiarowego (wcześniej zaakceptowanego do stosowania w procesie wytwarzania). Osie karty AD: oś odciętych – numer kolejnej próbki pobranej z procesu wytwarzania oraz oś rzędnych – względna różnica pomiędzy wartościami średnich obliczonych z wyników uzyskanych przez dwóch operatorów na podstawie dokonanych przez nich pomiarów części w ramach *i*-tej próbki. Punkty nanoszone na kartę (monitorowana statystyka dla karty AD) to różnice obliczone dla kolejnych próbek –  $Diff_{Ap1,2}$  (rys. 1).

$$Diff_{Ap1,2} = \bar{x}_{iAp1} - \bar{x}_{iAp2} \quad (1)$$

gdzie:

$\bar{x}_{iAp1}$  – średnia z pomiarów  $i$ -tej próbki wykonanych przez  $Ap1$  (ang. *Appraiser* – oceniający) w ramach pomiarów do karty sterowania procesem wytwarzania,

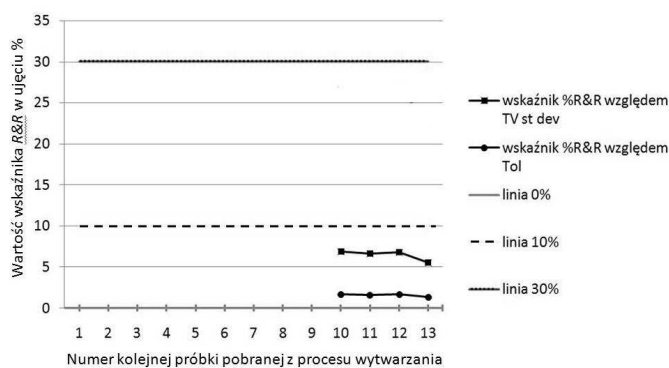
$\bar{x}_{iAp2}$  – średnia z pomiarów  $i$ -tej próbki wykonanych przez operatora drugiego  $Ap2$  (powtórzenie pomiarów).



Rys. 1. Karta AD – przykład  
Źródło: opracowanie własne

Obraz na karcie AD zawiera informacje o chwilowej całkowitej zmienności wynikającej z wpływu stosowanego przyrządu pomiarowego i wpływu operatorów. Rozrzut punktów powinien być symetryczny, przypadkowy po obu stronach linii centralnej (wartości oczekiwanej) równej zero.

Karta wskaźnika  $\%R\&R$  to druga z proponowanych kart dla bieżącej oceny systemu pomiarowego. Na osi rzędnych karty  $\%R\&R$  znajdują się procentowe wartości tego wskaźnika, a na osi odciętych indeksy, będące numerami kolejnych próbek. Monitorowaną statystyką  $\%R\&R$ . Pierwszy punkt na karcie  $\%R\&R$  pojawi się dopiero przy indeksie z numerem 10 i stanowi procentową wartość wskaźnika  $R\&R$  obliczoną na podstawie pierwszych dziesięciu próbek (rys. 2).



Rys. 2. Karta  $\%R\&R$  – przykład  
Źródło: opracowanie własne

Każdy kolejny punkt na karcie  $\%R\&R$  stanowi procentową wartość wskaźnika  $R\&R$  obliczoną na podstawie poprzednich dziesięciu próbek, a więc informacja o stanie jakościowym stosowanego systemu pomiarowego jest „odświeżana” przy każdej kolejnej pobranej próbce.

Linie kontrolne dla karty  $\%R\&R$  są stałe i wynoszą odpowiednio 0, 10 i 30 procent, dzieląc kartę na trzy obszary oceny systemu pomiarowego:

- akceptowalny dla punktów z przedziału 0 – 10%,
- warunkowo akceptowalny – 10 – 30%,
- nieakceptowalny – powyżej 30% [2].

Wartość wskaźnika  $R\&R$  w metodzie *online* obliczana jest w oparciu o rozstępy ze średnich operatorów (wartość średnią dla każdego z operatorów oblicza się ze wszystkich średnich uzyskanych z próbek), przy czym dla każdego kolejnego punktu na karcie do obliczeń uwzględnia się dziesięć poprzedzających próbek. Następnie, korzystając ze wzorów Hartleya, można obliczyć odpowiednie odchylenia standardowe, niezbędne do oszacowania  $R\&R$  [3,4]. Dalej należy porównać do wartości odniesienia (którą może być tolerancja  $T$  lub zmienność całkowita  $TV_{stdev}$ ). Ocena  $\%R\&R$  metodą *online* pozwala oszacować chwilową zdolność procesu pomiarowego i ocenić metodą pomiarową (jakościowy stan systemu pomiarowego).

### **3. Komputerowe wspomaganie bieżącej oceny przydatności systemu pomiarowego stosowanego w procesie wytwarzania**

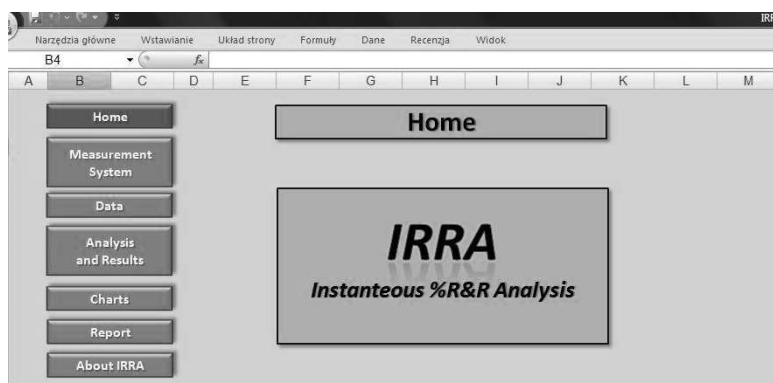
Autorzy artykułu, przekonani o potrzebie istnienia prostych, elastycznych rozwiązań informatycznych wspomagających system zarządzania jakością w obszarze sterowania produkcją, przedstawiają budowę i sposób funkcjonowania aplikacji wspomagającej analizę i ocenę stosowanego przy procesie wytwarzania systemu pomiarowego. Jest to kolejny etap prac autorów artykułu w omawianym zakresie – wcześniej w MS Excel 2003 przygotowano aplikację, będącą komputerowym wspomaganie oceny procesu wytwarzania (zaimplementowano w niej takie narzędzia, jak test zgodności hi-kwadrat, karty kontrolne, wskaźniki zdolności procesu  $C_p$  i  $C_{pk}$ , a także podstawową analizę systemu pomiarowego) [5] oraz w MS Excel 2007 aplikację *Quick R&R Analysis* (pol. *Szybka analiza R&R*) wspomagającą analizę systemu pomiarowego metodą średniej i rozstępu ARM (ang. *Average Range Method*) [6].

Pierwszą implementację komputerową dla metody bieżącej oceny przydatności systemu pomiarowego stosowanego w procesie wytwarzania zaproponowano w programie Microsoft Excel 2007 (przy wykorzystaniu narzędzia Visual Basic). Celem stworzenia tej wersji oprogramowania była przede wszystkim możliwość sprawdzenia opracowanego algorytmu programu, jego weryfikacja w warunkach produkcyjnych. Ponieważ w tym zakresie nawiązano współpracę z międzynarodowym koncernem Exide Technologies, opracowanie jest w angielskiej wersji językowej. Dzięki wykorzystaniu powszechnie dostępnego MS Excel, zastosowanie odpowiednio przygotowanego formularza jest łatwo dostępne (i bez dodatkowych kosztów) niemal na każdej hali produkcyjnej, a jego użytkowanie jest przyjazne dla obsługujących ten program. Poza tym, opracowana aplikacja miała wspomagać prace badawcze obejmujące doskonalenie i rozwój metody *online*. Po zakończeniu prac testowych, autorzy artykułu zamierzają opracować drugą, niezależną i profesjonalną wersję implementacji komputerowej dla metody bieżącej oceny przydatności systemu pomiarowego w procesie wytwarzania. Zakłada się, że kolejna wersja oprogramowania będzie rozbudowana o moduł sterowanie procesem wytwarzania

za pomocą kart kontrolnych Shewharta dla procesu wytwarzania lub będzie sprzężona z oprogramowaniem stosowanym do ich prowadzenia (by automatycznie pobierać dane pomiarowe z karty procesu).

Opracowaną aplikację nazwano *Analiza chwilowego %R&R* (ang. *Instanteous %R&R Analysis*), w skrócie *IRRA*. Głównym zadaniem programu jest wspomaganie pracy inżyniera jakości w zakresie podejmowania decyzji o stanie systemu pomiarowego stosowanego dla cech statystycznych procesu wytwarzania podlegających rozkładowi normalnemu. Program umożliwia przeprowadzenie analizy metodą bieżącej oceny przydatności systemu pomiarowego dla dwóch oceniających. Program umożliwia wprowadzenie danych dla 500 pięcioelementowych próbek.

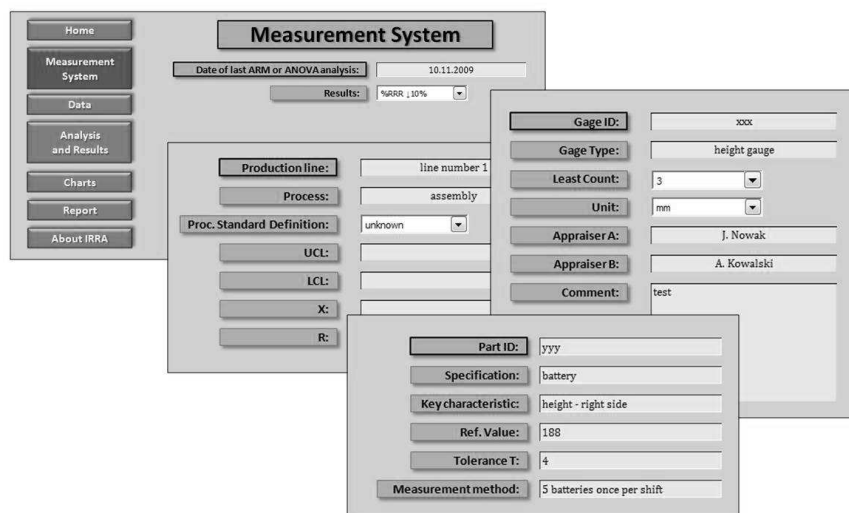
Główne okno aplikacji *Home* (rys. 3) wskazuje na zakres i kolejne etapy pracy z programem.



Rys. 3. Widok okna głównego aplikacji komputerowej metody bieżącej oceny przydatności systemu pomiarowego  
Źródło: opracowanie własne

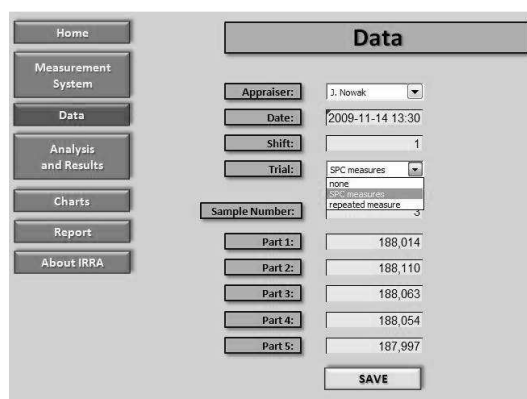
Opierając się na dotychczasowym doświadczeniu w pracy z wcześniej opracowanymi aplikacjami komputerowymi zaproponowano interfejs, który, zdaniem autorów, jest zrozumiały zarówno dla użytkownika jak i odbiorcy. Poza obszarem *Home*, program składa się z pięciu modułów pozwalających realizować kolejne etapy chwilowej oceny systemu pomiarowego oraz z obszaru *About IRRA* (pol. *O programie IRRA*), w którym użytkownik może zapoznać się ze stosowaną do obliczeń metodologią.

W module *Measurement System* (pol. *System Pomiarowy*) inżynier jakości ma możliwość wprowadzenia do programu informacji o ostatniej pełnej analizie MSA, na podstawie której dopuszczono system pomiarowy do dalszego stosowania. Ta karta programu zawiera również informacje o operatorach, którzy dokonują pomiarów oraz o stosowanym narzędziu czy urządzeniu pomiarowym, procesie wytwarzania jakim system pomiarowy służy, a także dane o mierzonej charakterystyce tego procesu i produkowanym wyrobie (rys. 4).



Rys. 4. Widoki z modułu *Measurement System* w programie *IRRA*  
Źródło: opracowanie własne

Moduł *Data* (pol. *Dane*) jest przeznaczony dla operatorów dokonujących pomiarów danej charakterystyki procesu wytwarzania (rys. 5). Użytkownik programu wybiera swoje nazwisko pośród zdefiniowanych wcześniej przez inżyniera jakości operatorów. W arkuszu *Data* operator wybiera również rodzaj pobieranej do pomiarów próbki (próbka pobierana z procesu wytwarzania w ramach pomiarów do kart kontrolnych SPC lub próbka mierzona powtórnie, którą następnie należy „zwrócić” do procesu wytwarzania). Wybór tych dwóch

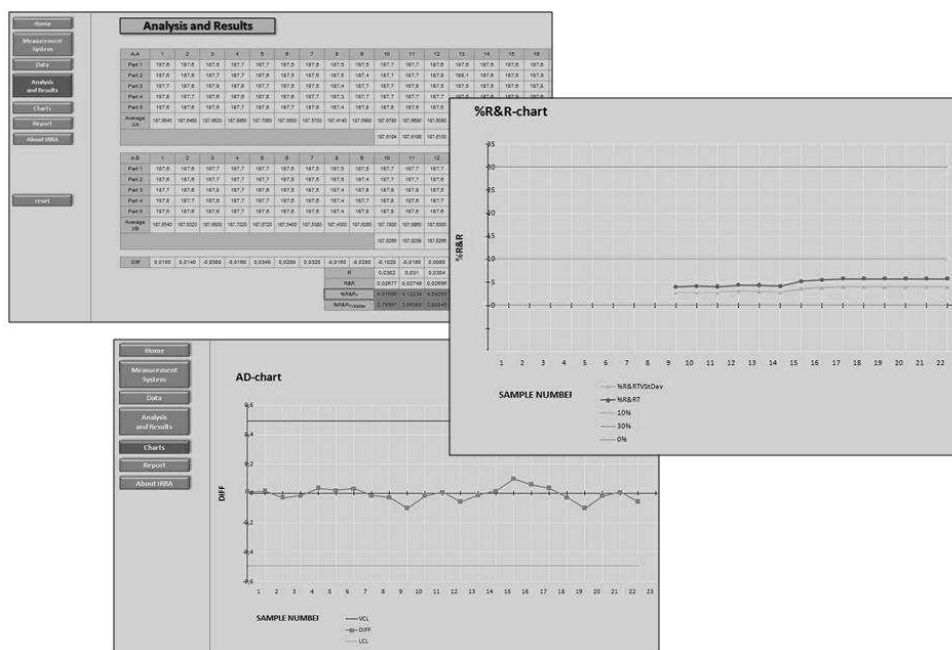


Rys. 5. Widok obszaru dla operatorów (*Data*) w programie *IRRA*  
Źródło: opracowanie własne

elementów jest konieczny, by można było następnie wprowadzić wartości wyników z dokonanych pomiarów na pięcioelementowej próbce. Przycisk *Save* (pol. *Zapisz*) zapisuje

kończy pracę operatora z programem i zapisuje wyniki do dalszej ich analizy.

Kolejne dwa moduły, *Analysis and Results* (pol. *Analiza i Wyniki*) oraz *Charts* (pol. *Wykresy*), to obszar wspomagający decyzje inżyniera jakości o chwilowym stanie stosowanego systemu pomiarowego (rys. 6).



Rys. 6. Widok modułów *Analysis and Results* oraz *Charts* w programie *IRRA*  
Źródło: opracowanie własne

Inżynier jakości ma w tych arkuszach dostęp do wszystkich danych pomiarowych z podziałem na te pobrane w ramach SPC oraz te będące powtórzeniem. Na podstawie obserwacji karty AD oraz karty %R&R może on wysunąć wnioski na temat przebiegu procesu pomiarowego i poprawności stosowania przez operatorów metody pomiarowej. Należy przy tym pamiętać, że podstawą wnioskowania jest znajomość procesu przez oceniającego oraz wiedza o stosowanej technologii.

Z modułu *Report* program generuje raport z przeprowadzonej analizy dla wybranej liczby poprzedzających pomiarów (raport dla ostatnich dziesięciu próbek, dla ostatnich dwudziestu, raport dla danych od wskazanej daty oraz dla wszystkich pobranych dotąd próbek). Raport można wydrukować i zapisać do osobnego pliku.

#### 4. Podsumowanie

Celem opracowania metody *online* była możliwość uzyskania bieżącej oceny przydatności systemu pomiarowego przy jak najmniejszym nakładzie prac przygotowawczych. Istotnym była również minimalna ingerencja w proces wytwarzania i pracę operatorów przez stosowanie metody. Ponadto, miała się ona charakteryzować łatwością stosowania i interpretacji wyników, co osiągnięto.

Podsumowując powyższe, do najważniejszych zalet metody *online* zaliczyć można:

- możliwość monitorowania precyzji systemu pomiarowego bezpośrednio na stanowisku roboczym operatorów i podczas ich codziennej pracy – brak konieczności zatrzymywania procesu wytwarzania lub „zostawiania po godzinach”, by ocenić przydatność systemu,
- możliwość uzyskiwania bieżącej informacji o stanie jakościowym stosowanego systemu pomiarowego,
- ograniczenie czasu, miejsca potrzebnego dla badanych części, czynności organizacyjnych i liczby niezbędnych pomiarów do oceny stanu jakościowego systemu pomiarowego,
- graficzną prezentację stanu jakościowego systemu pomiarowego,
- brak konieczności oznaczania próbek i składających się na nie części pobrane z procesu wytwarzania.

Komputerowa aplikacja dla opracowanej metody *online* może wspomagać pracę inżyniera jakości, ułatwiając mu podejmowanie decyzji o jakościowym chwilowym stanie systemu pomiarowego stosowanego w procesie wytwarzania. Proste narzędzia informatyczne mogą być „złotym środkiem” dla przedsiębiorstw – niedrogie i niewymagające aplikacji, w stopniu niezbędnym umożliwiające analizę statystyczną.

*Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w roku 2009 jako projekt badawczy nr KBN-22-1405/B/T02/2009/36.*

## **Literatura**

1. Pajzderski P.: Dobór i nadzorowanie wyposażenia do pomiarów i monitorowania w procesach wytwarzania, praca doktorska, Politechnika Poznańska, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania 2001.
2. Measurement Systems Analysis, MSA-Third Edition. Reference manual, AIAG-Work Group, Daimler Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation 2002.
3. Hamrol A.: Zarządzanie jakością z przykładami, wyd. PWN, Warszawa, 2008.
4. Dietrich E., Schulze A.: Metody statystyczne w kwalifikacji środków pomiarowych i procesów produkcyjnych, wyd. Notika System, Warszawa, 2000.
5. Babica M., Pająk E.: Komputerowe wspomaganie statystycznej oceny procesu wytwarzania, X Konferencja Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie, 2007, Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją, Opole, tom I.
6. Diering M., Pająk E., Pajzderski P.: Measurement System Analysis – a computer aided research, in: ENBIS8, Athens, Greece, 2008.

Mgr inż. Magdalena DIERING

Dr hab. inż. Edward PAJĄK – prof. nadzw. PP

Zakład Zarządzania Produkcją, Instytut Technologii Mechanicznej

Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania, Politechnika Poznańska

61-138 Poznań, ul. Piotrowo 3

tel./fax.: 061 665 2740/ 061 665 2200

e-mail: magdalena.diering@put.poznan.pl

edward.pajak@put.poznan.pl