

**Piotr Grudowski\***

**Aleksander Czarnacki\*\***

## **Automatyzacja procesów pomiarowych w metodyce Six Sigma w sektorze MŚP**

### **Wstęp**

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie metrologicznych aspektów metodyki Six Sigma w świetle nowoczesnych rozwiązań technologicznych. Nieodłącznym elementem Six Sigmy są pomiary, na bazie których odbywa się kontrola procesów produkcyjnych. Tradycyjne metody pomiarowe mogą występować w produkcji jednostkowej, natomiast produkcja seryjna i masowa wymaga automatyzacji procesów pomiarowych.

Metodyka Six Sigma może być wdrażana w przedsiębiorstwach o różnym profilu produkcyjnym czy usługowym [Gupta, 2004]. Przedsiębiorstwa te charakteryzują się zazwyczaj dużą skalą produkcji, co powoduje konieczność stosowania rozbudowanych i nowoczesnych instrumentów pomiarowych. Trudno sobie wyobrazić ręczny pomiar parametrów elementów elektronicznych (np. rezystorów, kondensatorów, tranzystorów) w fabryce elementów elektroniki czy ważenie każdej tabletki w procesie wytwarzania produktów farmaceutycznych. Aby kontrola procesów była efektywna należy stosować wysokowydajne układy pomiarowe, co w przypadku sektora małych i średnich przedsiębiorstw (MŚP) może dyskwalifikować wdrożenie elementów Six Sigmy.

Jednym z najważniejszych czynników, wpływających na decyzję o zakupie danego przyrządu kontrolno-pomiarowego jest jego cena. W małych i średnich przedsiębiorstwach, gdzie często produkcja jest jednostkowa lub małoseryjna, pomiary dokonywane są przy użyciu podstawowych narzędzi pomiarowych. Na zakup drogiej, jak na możliwości finansowe tych przedsiębiorstw aparatury decydują się nieliczni. Jeżeli jednak zapada de-

---

\* dr hab. inż. Piotr Grudowski, prof. nadzw. PG, Wydział Zarządzania i Ekonomii, Politechnika Gdańska, pgrudows@pg.gda.pl

\*\* mgr inż. Aleksander Czarnacki, Wydział Zarządzania i Ekonomii, Politechnika Gdańska, olekcza@o2.pl

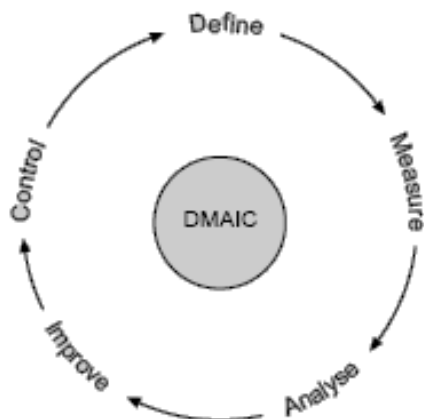
czyż o wdrożeniu metodyki Six Sigma w małym lub średnim przedsiębiorstwie, należy pamiętać, iż jej podstawowym przeznaczeniem jest najczęściej kontrola procesów o profilu seryjnym lub masowym.

## 1. Metodyka Six Sigma i jej zastosowanie

Początki funkcjonowania metodyki Six Sigma datuje się na lata 80-te dwudziestego wieku. Intencją twórców Six Sigmy było stworzenie takiego systemu zarządzania procesami, który umożliwiłby redukcję kosztów wytwarzania przy jednoczesnym osiągnięciu wysokiej jakości produktów czy usług. Podejście procesowe okazało się skuteczne i w ostatecznie Six Sigma zyskała w krótkim czasie wielu zwolenników [Gupta, 2004].

Six Sigma opiera się na założeniu osiągnięcia maksymalnie 3-4 wadliwych na milion wytworzonych, przy czym wady te wykrywane powinny być jeszcze przed ich realnym wystąpieniem. W związku z tym niezbędna jest odpowiednia organizacja procesów zachodzących w przedsiębiorstwie, właściwa współpraca pomiędzy poszczególnymi komórkami organizacji a także maksymalne zaangażowanie pracowników [McCarty, Bremer, 2004].

Metodyka Six Sigma jest ciągle udoskonalana. Pioniersko wdrożona w połowie lat 80 dwudziestego wieku w firmie Motorola, Six Sigma realizowana była na bazie modelu DMAIC, którego poszczególne etapy przedstawiono na rys.1.:



Rysunek 1. Elementy modelu DMAIC

DMAIC jest pięciostopniowym procesem, składającym się z następujących faz:

1. Definiowania (Define).
2. Pomiaru (Measure).
3. Analizy (Analyse).
4. Udoskonalania (Improve).
5. Nadzorowania (Control).

Powyższe rozwiązanie odnosi się do procesu już istniejącego. Podczas projektowania nowych procesów DMAIC zostaje zastąpiony przez cykl DMADV, którego poszczególne fazy to [Gitlow, Levine, Popovich, 2006]:

1. Definiowanie (Define).
2. Pomiary (Measure).
3. Analiza (Analyse).
4. Projektowanie rozwiązania (Design).
5. Weryfikacja wyników (Verify).

**Rysunek 2. Elementy modelu DMADV**



Źródło: <http://www.quality-one.com>.

Oba opisane podejścia różnią się, mimo posiadania składowych o identycznych nazwach. Przykładowo analiza w DMAIC jest wykorzystywana w celu znalezienia głównych przyczyn wady lub powtarzającego się problemu. W cyklu DMADV proces biznesowy jest analizowany w celu znalezienia rozwiązań, które pomogą w spełnianiu potrzeb klientów i ich wymagań. Faza pomiarów (Measure) w przypadku DMAIC jest wykorzystywana do pomiarów bieżących wyników działalności, natomiast

w DMADV jest wykorzystywana do pomiaru potrzeb klienta i specyfikacji procesu. Six Sigma jest metodyką umożliwiającą wstępny dobór odpowiedniego schematu postępowania, przy czym schemat ten może być realizowany w elastyczny sposób, dzięki szerokiemu spektrum narzędzi wykorzystywanych przez tą metodykę. Należy podkreślić, iż narzędzia te stworzone zostały wcześniej, aniżeli sama metodyka. Dzięki odpowiedniemu usystematyzowaniu etapów postępowania, narzędzia przedstawione w tabelicy 1. zaczęły funkcjonować jako spójna całość, tworząc właśnie metodykę Six Sigma.

## 2. Pomiary w metodyce Six Sigma

Analizując literaturę poświęconą Six Sigma, nietrudno zauważyć, iż duża jej część poświęcona jest cyklowi pomiarów, ze szczególnym zwróceniem uwagi na etap Measure.

**Tablica 1. Narzędzia i metody wykorzystywane w cyklu DMAIC**

<b>Etap DMAIC</b>	<b>Narzędzia i metody</b>
Define (D)	- diagramy Pareto - diagramy podobieństwa - schematy przebiegu procesu - analiza FMEA
Measure (M)	- MSA - SPC - wykresy trendów
Analyse (A)	- diagram Ishikawy - histogramy - metoda 5-why - DOE (Design of Experiments) - analiza regresji
Improve (I)	- burza mózgów - Poka Yoke - diagramy procesów - macierze działań korygujących
Control (C)	- plany kontroli - metody SPC - metoda FMEA - 5s

Źródło: Opracowanie własne.

Zamierzeniem autorów niniejszego artykułu nie jest analiza drugiego etapu cyklu DMAIC/DMADV lecz analiza możliwości pomiarowych w małych i średnich przedsiębiorstwach w odniesieniu do końcowej fazy procesu DMAIC – czyli fazy nadzorowania. W trakcie tego etapu można sprawdzić, czy ulepszenia, które zostały wprowadzone do procesów przynoszą wymagane skutki.

Faza ta niestety jest jedną z najczęściej pomijanych w metodyce Six Sigma. Wynika to z przekonania, że realizacja poprzedzających nadzorowanie etapów DMAIC powoduje osiągnięcie zamierzonego efektu, natomiast pomiary są tylko dodatkiem, potwierdzającym trafność podjętych wcześniej decyzji [Gupta, 2004]. Satisfakcja wynikająca z efektów podjętych działań często powoduje brak obiektywnego spojrzenia na konsekwencje pominięcia pewnych działań. W efekcie takiego postępowania poprawa jakości danego procesu może być zjawiskiem krótkotrwałym. Nadzorowanie efektywności i trwałości przeprowadzanych działań leży zatem w interesie przedsiębiorców wykorzystujących metodykę Six Sigma. Kluczowe pytania, jakie towarzyszą fazie Control, to [McCarty, Bremer, 2004]:

1. Skąd wiesz, że problem został rozwiązany?
2. Skąd wiesz, że problem się nie powtórzy?
3. Jaką masz pewność, że mierzono odpowiednie wskaźniki procesowe?
4. Czego nauczyłeś się podczas przeprowadzania projektu doskonalącego?

Odpowiedzi na pierwsze z postawionych powyżej pytań dają zazwyczaj wyniki z przeprowadzanych pomiarów. Jeżeli przez określony czas karty SPC wskazują stabilny przebieg procesu, można jednoznacznie stwierdzić, iż problem nie istnieje lub został rozwiązany. Rozwiązania kwestii drugiego pytania dotyczącego ponownego wystąpienia danego problemu należy szukać w długookresowych wynikach pomiarów. W przypadku odnowienia się problemu można podejrzewać niewłaściwy dobór wskaźników procesowych lub wpływ czynników zewnętrznych (zakłóceń), które nie były brane pod uwagę jako wskaźniki procesowe (pytanie 3). Ostatnie pytanie traci swoją moc w odniesieniu do jednego (pierwszego) przypadku, lecz odpowiedź na nie powinna dać efekty w trakcie kolejnych projektów. Rozwiązywanie kolejnych problemów powoduje zdobywanie doświadczenia, które jest niezbędne do podejmowania trafnych decyzji.

Metodyka Six Sigma wykorzystuje wyniki pomiarów niemal w każdym aspekcie swojego funkcjonowania, dlatego istotne jest właściwe i rzetelne przeprowadzanie procesów pomiarowych. Niezbędna jest także właściwa obróbka i interpretacja wyników pomiarów, co zapewnić powinny osoby o odpowiednim przygotowaniu, posiadające jednocześnie duże doświadczenie z zakresu analizy danych. Ma to znaczenie głównie w przypadku określania wagi poszczególnych czynników wpływających na realizowany proces, gdzie właśnie dzięki doświadczeniu można określić czynniki mocniej lub słabiej oddziałujące na dany proces i uprościć interpretację wyników poprzez nieuwzględnianie zakłóceń o małej wadze.

### **3. Metody i narzędzia pomiarowe w doskonaleniu procesów**

Każdy pomiar polega na porównaniu wielkości mierzonej z wzorcem tej wielkości. Pomiar wykonuje się różnymi metodami, wśród których wyróżniamy [Bednarczyk, 2000]:

1. Metodę pomiarową bezpośrednią.
2. Metodę pomiarową pośrednią.
3. Metodę pomiarową różnicową.
4. Metodę zerową.

W wielu przypadkach daną wielkość można zmierzyć różnymi metodami. Dobór metody pomiarowej uzależniony jest od wielu czynników, przy czym najważniejsze z nich to:

1. Znajomość obiektów mierzonych.
2. Rodzaj wielkości mierzonej.
3. Wymagana dokładność pomiaru.
4. Warunki, w jakich przeprowadzany jest pomiar.
5. Sposób, w jaki opracowywany będą wyniki.

Oprócz prawidłowego doboru metody pomiarowej należy zwrócić uwagę na narzędzia pomiarowe, którymi przeprowadzany będzie pomiar. Konieczne jest dobranie narzędzia o właściwej dokładności i precyzji, pozwalającego na szybki pomiar i wyraźny odczyt wyniku pomiaru. Wśród narzędzi dostępnych obecnie na rynku rozróżnia się [Piotrowski, 1978]:

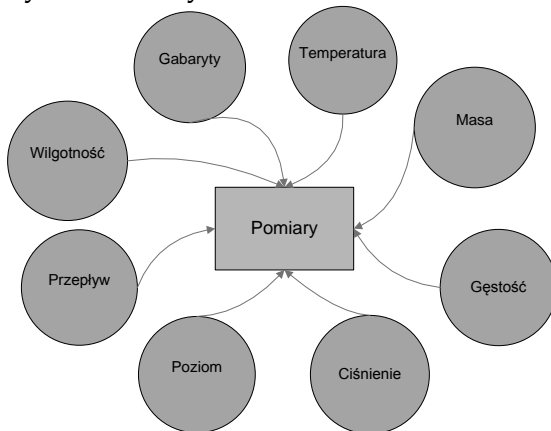
1. Wzorce miary – są to narzędzia pomiarowe odtwarzające, z określoną dokładnością, jedną lub wiele znanych wartości danej wielkości w sposób niezmienny podczas jego stosowania.
2. Przyrządy pomiarowe – są to narzędzia pomiarowe przeznaczone do przetwarzania wielkości mierzonej na wskazania lub inną równoważ-

ną informację. Pomiary przyrządem mogą być wykonywane samodzielnie lub w połączeniu z jednym lub z wieloma urządzeniami dodatkowymi.

- Przetworniki pomiarowe - służą do przetwarzania wartości wielkości mierzonej na proporcjonalną wartość innej wielkości wyjściowej lub inną wartość tej samej wielkości.

Narzędziom pomiarowym stawia się duże wymagania odnośnie do funkcjonalności i dokładności pomiaru. Zauważyć można także dużą różnorodność pomiarów – w zależności od profilu przedsiębiorstwa. Producenci narzędzi pomiarowych, wychodząc naprzeciw oczekiwaniom przemysłu, produkują obecnie narzędzia czy nawet urządzenia, pozwalające zmierzyć niemal każdą wielkość.

### Rysunek 3. Przykładowe wielkości mierzone



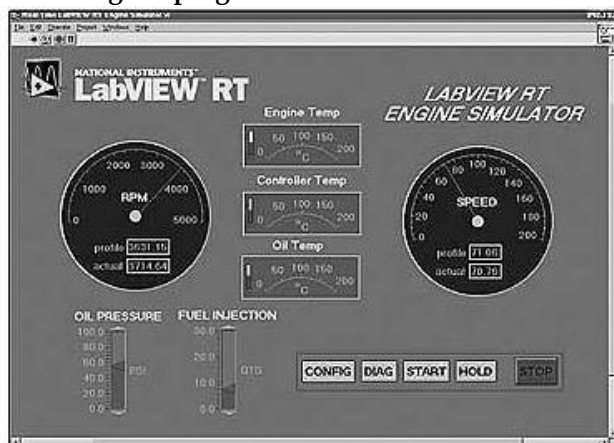
Źródło: Opracowanie własne.

Współczesne narzędzia pomiarowe posiadają najczęściej odczyt cyfrowy oraz możliwość komunikacji z komputerem. Dzięki radiowemu przesyłowi sygnału możliwe jest zapisywanie wyników pomiarów dokonywanych w znacznej odległości od komputera. Z informacji producentów narzędzi pomiarowych z nadajnikiem wynika, iż zasięg nadajnika może wynosić nawet 200 m na otwartej przestrzeni oraz że jeden odbiornik radiowy jest w stanie obsłużyć 100-120 przyrządów pomiarowych z nadajnikami.

Urządzenia z nadajnikami znacznie skracają czas potrzebny na przeprowadzenie pomiarów i analizę wyników. Komputer zbierający dane musi być jednak wyposażony w odpowiednie oprogramowanie, służące do zbierania, archiwizowania i aktualizowania danych z pomiarów. Największe przedsiębiorstwa korzystają z oprogramowania typu LabVIEW, którego popularność przyniosło nowatorskie podejście do tworzenia interfejsu aplikacji.

Od ponad 25 lat graficzny język programowania LabVIEW firmy National Instruments wprowadza nowatorskie podejście w procesie tworzenia aplikacji związanych z testowaniem, pomiarami i sterowaniem. Niezależnie od poziomu zaawansowania, inżynierowie i naukowcy mogą w niedrogi i szybki sposób łączyć się z urządzeniami pomiarowymi i sterującymi, analizować dane, udostępniać wyniki i rozpowszechniać systemy. LabVIEW jest graficznym systemem oprogramowania do tworzenia wysoko wydajnych aplikacji naukowych i inżynierskich, w którym programy tworzone są za pomocą ikon, zamiast tradycyjnego kodu tekstowego. LabVIEW może pobierać dane z urządzeń sterujących poprzez złącze IEEE-488 (GPIB) oraz RS-232/422 i modułowych w VXI lub CAMAC) instrumentów, jak również plug-in I / O (rys. 4).

Rysunek 4. Przykładowa wizualizacja pomiaru parametrów pracy samochodu osobowego w programie LabVIEW



Źródło: [www.robotics.utexas.edu](http://www.robotics.utexas.edu).



#### 4. Automatyzacja pomiarów produktów i procesów w sektorze MŚP

Implementacja metodyki Six Sigma powoduje konieczność ciągłego i skrupulatnego zbierania i analizy danych pomiarowych. Efektywne zbieranie pomiarów z każdego procesu przebiegającego w przedsiębiorstwie możliwe jest obecnie dzięki dostępności szerokiego wachlarza aplikacji komputerowych, przeznaczonych do obsługi procesów pomiarowych.

Specyfika sektora MŚP wymaga indywidualnego podejścia do kwestii związanych z procesami pomiarowymi, co wynika z różnorodności produkcji i usług w tym sektorze. Jeżeli zauważa się dużą zmienność wyników procesu produkcyjnego, należy zastanowić się nad indywidualnym dostosowaniem środków pomiarowych do potrzeb danego profilu produkcji. W takich przypadkach wykorzystuje się układy pomiarowe zbudowane z szeroko dostępnych elementów, jak na przykład [Webster, 1999]:

- czujniki zbliżeniowe,
- wzmacniacze pomiarowe,
- filtry analogowe,
- układy linearyzujące,
- multipleksery sygnału analogowego.

Budowanie systemu pomiarowego we własnym zakresie znacznie obniża koszty, ale jednocześnie umożliwia lepsze jego dopasowanie do własnych potrzeb. Z drugiej jednak strony należy się liczyć z częstymi wadami, ograniczającymi efektywność stworzonego systemu.

Zbieranie i archiwizacja danych z przeprowadzanych pomiarów nie wymaga zakupu drogich i rozbudowanych systemów. W przypadku przedsiębiorstw małych i średnich, gdzie różnorodność produkcji nie jest duża, można korzystać z ogólnodostępnych aplikacji typu Microsoft Excel lub Matlab. Obniży to oczywiście koszty oprogramowania, ale także uprości pracę osobom obsługującym dany system pomiarowy. Dane zawarte w arkuszach kalkulacyjnych można później analizować, można także przeprowadzać na nich obliczenia statystyczne. Zastosowanie wspomnianego wyżej programu MS Excel umożliwia eksportowanie danych do aplikacji typu Statistica oraz do innych programów komputerowych, wspierających metodykę Six Sigma.

## **Zakończenie**

Współczesny rozwój technologii informatycznych powoduje przemiany niemal we wszystkich sferach gospodarki, w tym przede wszystkim w sektorze MŚP.

Dzięki rozwojowi informatyki oraz elektroniki (nanoelektroniki), możliwe staje się zautomatyzowanie procesów kontrolno – pomiarowych a także automatyzacja sterowania procesami produkcyjnymi.

Wdrożenie metodyki Six Sigma, bez względu na wielkość przedsiębiorstwa wymaga skoncentrowania się na wyborze sposobu przeprowadzania pomiarów i analizie danych. Dzięki narzędziom informatycznym procesy te przebiegają efektywniej, dane są automatycznie porządkowane i analizowane, a zakłócenia i błędy w procesach są szybciej identyfikowane, przez co szybciej podejmowane są decyzje dotyczące doskonalenia.

Specyfika sektora MŚP wymaga skrzętnego gospodarowania posiadanymi skromnymi zasobami. W związku z tym należy podejmować próby projektowania i implementacji tych systemów, uwzględniając jednocześnie kryteria jakości i efektywności ekonomicznej.

## **Literatura**

1. Gupta Praveen (2004), *Six Sigma Business Scorecard*, The McGraw-Hill Companies, NY.
2. Basu R., Wright J. (2003), *Quality Beyond Six Sigma*, Butterworth-Heinemann, Oxford.
3. McCarty Th., Bremer M., Daniels L., Gupta P. (2004), *The Six Sigma Black Belt Handbook*, The McGraw-Hill Companies, NY.
4. Brue G. (2006), *Six Sigma for Small Business*, Entrepreneur Media.
5. Gitlow H.S., Levine D.M., Popovich E.A. (2006), *Design for Six Sigma for Green Belts and Champions: Applications for Service Operations – Foundations, Tools, DMADV, Cases and Certification*, Upper Saddle River, NJ.
6. Bednarczyk J. (2000), *Podstawy metrologii technicznej. Laboratorium*, Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne, Kraków.
7. Piotrowski J. (1978), *Podstawy metrologii*, PWN, Warszawa.
8. Webster J.G. (1999), *Measurement Instrumentation and Sensors Handbook*, CRC Press LLC, U.S.
9. [www.oberon.com](http://www.oberon.com).
10. [www.robotics.utexas.edu](http://www.robotics.utexas.edu).

**Streszczenie**

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie metrologicznych aspektów metodyki Six Sigma w świetle nowoczesnych rozwiązań technologicznych. Pomiary są nieodłącznym elementem metodyki Six Sigma, gdyż na ich bazie prowadzi się nadzorowanie procesów produkcyjnych. Tradycyjne metody pomiarowe mogą występować w produkcji jednostkowej, natomiast produkcja seryjna i masowa wymaga automatyzacji procesów pomiarowych.

**Słowa kluczowe**

Six Sigma, Sektor MŚP, pomiary, automatyzacja, oprogramowanie

**Automation of measurement processes in the Six Sigma methodology in SMEs (Summary)**

The purpose of this article is to present the metrological aspects of Six Sigma methodology in the light of modern technological solutions. Measurements are inherent part of Six Sigma methodology, enabling the control of production processes. Traditional methods of measuring are typical for single item production, while mass production even in small companies requires automation of measuring processes.

**Keywords**

Six Sigma, SME sector, measurement, automation, software