

# Praktyczne aspekty zastosowania metod statystycznych w procesach systemu zarządzania

Sabina Żebrowska-Łucyk

Politechnika Warszawska, Wydział Mechatroniki, Instytut Metrologii i Inżynierii Biomedycznej, ul. św. Andrzeja Boboli 8, 02-525 Warszawa

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono w zarysie obszary zastosowań metod statystycznych w procesach zarządzania, wskazując na okoliczności sprzyjające wdrażaniu tych metod w firmach oraz wypunktowano istniejące zagrożenia i trudności. Scharakteryzowano dostępne na rynku komercyjnym oprogramowanie przeznaczone do analiz statystycznych i na tym tle omówiono dwa użyteczne narzędzia informatyczne opracowane na Politechnice Warszawskiej.

**Słowa kluczowe:** system zarządzania, metody statystyczne, oprogramowanie do analiz statystycznych

## 1. Wdrażanie narzędzi statystycznych w systemach zarządzania

### 1.1. Metody statystyczne a podejście procesowe do zarządzania firmą

Trudno wyobrazić sobie współczesną firmę, która byłaby zdolna sprostać konkurencji nie stosując w swojej działalności wielorakich analiz statystycznych. Zazwyczaj analizy takie dotyczą nie jednego, ale wielu obszarów funkcjonowania instytucji, takich jak: planowanie rozwoju, analiza zdolności jakościowej dostawców, projektowanie i doskonalenie wyrobu, określenie wymagań niezawodnościowych dla wyrobu i prognozowanie jego trwałości, sterowanie procesami wytwarzania i ocena ich zdolności, analiza danych dotyczących gotowego produktu, analizy metrologiczne, analizy marketingowe itp. [1].

Gospodarka rynkowa zmusza rywalizujące ze sobą firmy do uzyskiwania coraz lepszych efektów działalności a jednocześnie ograniczania ponoszonych nakładów. Producenci i dystrybutorzy kładą coraz większy nacisk na wychwytywanie symptomów wszelkich zakłóceń, co pozwala im podejmować działania prewencyjne. Im szybciej zostają wykryte usterki, tym mniejsze są koszty spowodowanych nimi skutków. Nawiązując do tego faktu – propagowane przez wiodące koncerny – metody zarządzania *Sześć Sigma* (ang. *Six Sigma*) i *Lean Management*, promujące nowe pojęcia, które ma równocześnie charakter sztandarowego postulatu zarządzania: *redukcja kosztów złej jakości COPQ* (ang. *Cost of Poor Quality*) [2].

O ile tradycyjne modele organizacyjne przedsiębiorstw rozdzielały odpowiedzialność za poszczególne fazy powstawania i sprzedaży wyrobu między wyspecjalizowane działy, to obecnie coraz więcej firm dostrzega potrzebę stałego i uważnego śledzenia powiązań występujących między procesami realizowanymi w firmie. Termin *proces* oznacza w tym kontekście każde działanie, które wiąże się z pozyskaniem danych wejściowych i ich przekształceniem (ISO 9001). Wyniki otrzymane na wyjściu danego procesu stanowią często dane wejściowe do kolejnych procesów. Systematyczne zarządzanie wieloma powiązanymi ze sobą procesami wewnątrz organizacji określa się jako *podejście procesowe* do zarządzania. Przeświadczenie, że takie podejście dobrze służy firmom, zaowocowało nie tylko rozwojem strategii zarządzania, ale także szerszym wdrażaniem zaawansowanych metod statystycznej analizy danych [3–6].

Podejście procesowe dotyczy zarówno branż przemysłowych (m.in. budowy maszyn, przemysłu motoryzacyjnego, okrętowego, lotniczego, spożywczego, farmakologicznego, budownictwa), jak i rozmaitych usług – świadczonych w bankach, służbie zdrowia, turystyce, edukacji, transporcie czy przy wdrażaniu systemów informatycznych. Obejmuje ono zarządzanie jakością (TQM), środowiskowe, BHP, antykorupcyjne, zasobami ludzkimi, nieruchomościami, strategiczne, kryzysowe. Coraz więcej firm podejmuje działania zmierzające do wdrożenia Zintegrowanego Systemu Zarządzania, czyli spójnego łączenia procesów, procedur oraz praktyk działania stosowanych w organizacji (i spełniających wymagania norm serii ISO 9000 i ISO 14000), aby w ten sposób osiągać cele skutecznie niż w przypadku funkcjonowania oddzielnych systemów zarządzania.

Wiele procesów w firmach jest realizowanych w pętli Deminga, oznaczanej jednym ze skrótów: PDCA (Plan–Do–Check–Act) lub PDSA (Plan–Do–Study–Act): Zaplanuj–Wykonaj–Zbadaj–Działaj. Podstawą zaś do wdrożeń metody Six Sigma jest pięcioetapowy cykl DMAIC (akronim od słów Define–Measure–Analyze–Improve–Control), czyli Definiuj–Mierz–Analizuj–Usprawniaj–Kontroluj/Steruj). W aspekcie wykorzystania metod statystycznych kluczowymi etapami

#### Autor korespondujący:

Sabina Żebrowska-Łucyk, szl@mchtr.pw.edu.pl

#### Artykuł recenzowany

nadesłany 18.11.2014 r., przyjęty do druku 8.01.2015 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0

są Zbadaj w cyklu Deminga oraz Mierz i Analizuj w cyklu DMAIC, gdyż obejmują one monitorowanie rozmaitych cech ilościowych i jakościowych procesów oraz wyrobów, porównanie wyników pomiarów i obserwacji z wymaganiami, tworzenie raportów i na koniec sformułowanie wniosków dotyczących możliwości uzyskania lepszych efektów.

Instytucja, która zamierza wprowadzić systematyczne monitorowanie procesów w niej realizowanych, musi ustalić, jakie dane są niezbędne do podejmowania decyzji, a następnie wyznaczyć miejsca i częstotliwość pobierania informacji (ilościowej i jakościowej) oraz określić metody akwizycji i analizowania danych.

## 1.2. Okoliczności sprzyjające stosowaniu metod statystycznych

### 1.2.1. Pomyślne warunki zewnętrzne

Niemal każde kierownictwo zarządzające nowoczesną instytucją, bez względu na jej charakter (produkcja, usługi, edukacja itp.), wspiera wdrażanie metod i narzędzi statystycznych. Jest bowiem kwestią bezsporną, że informacja kompleksowa, zanalizowana szybko, holistycznie, dogłębnie i obiektywnie, pozwala jednostkom działać sprawniej i ułatwia zdobywanie przewagi nad konkurencją.

Wprowadzaniu statystycznych metod analizy danych w firmach sprzyjają też inne czynniki: globalizacja rynków, zdobywanie przez specjalistów doświadczeń w międzynarodowych korporacjach i zarządach, przepływ kadry między sektorami, ubieganie się firm o certyfikaty i zewnętrzne źródła finansowania (np. z funduszy UE), współdzielenie projektów, a także presja dyrektyw i norm dotyczących jakości i zarządzania [7–9].

Wymieniając okoliczności korzystne, nie można też nie napomknąć o coraz swobodniejszym posługiwaniu się językiem angielskim przez pracowników wszystkich szczebli a także o korzyściach, jakie niosą innowacje technologiczne oraz zdalny dostęp do publikacji naukowych. Nowym, a bez wątpienia pozytywnym zjawiskiem jest pojawienie się internetowych forów dyskusyjnych, poświęconych praktycznym aspektom wdrażania metod statystycznych. Powstając samorzutnie, fora te przyciągają zarówno statystycznych nowicjuszy, jak i ekspertów różnych branż, tworząc nieograniczoną geograficznie, wolną od usztywnień organizacyjnych platformę, służącą swobodnej wymianie opinii i doświadczeń.

### 1.2.2. Automatyczne systemy monitorowania procesów i informatyzacja firm

Większość firm dysponuje ogromem informacji o swoich działaniach i realizowanych procesach. Są wśród nich informacje archiwalne (nierzadko jeszcze w formie papierowych dokumentów) oraz tworzone na bieżąco (zwykle w formie cyfrowej) – niezliczone linie tekstu, miliony liczb, symbole graficzne, wykresy, schematy, obrazy, dźwięki i filmy. Dyski serwerów firmowych magazynują potężne bazy danych. Można zapewnić do tych danych kontrolowany dostęp wielu osobom (z logowaniem do systemu), różnicując zakres ich uprawnień.

Coraz więcej procesów realizowanych w firmach podlega monitorowaniu przy użyciu zunifikowanych algorytmów i zautomatyzowanych systemów, co – w połączeniu z potężną mocą obliczeniową komputerów – pozwala przetwarzać gigantyczne czasem zbiory danych w niezwykłym tempie. Dzięki rozwojowi sieci informatycznych utworzone analizy, raporty i meldunki mogą trafiać równocześnie na biurko szefa i do wszystkich zainteresowanych jednostek organizacyjnych. Telekonferencje zaś pozwalają na sprawne przedyskutowanie trudniejszych kwestii przez ekspertów różnych dziedzin, rozproszonych w odległych lokalizacjach.

Są więc mocne podstawy by twierdzić, że w większości firm istnieją wielce sprzyjające warunki już nie tylko do powszech-

nego stosowania prostych analiz statystycznych, ale też do wprowadzania metod kompleksowych i bardzo zaawansowanych. Mimo to, w wielu jeszcze jednostkach wdrażanie choćby tylko podstawowych narzędzi statystycznych, należących do powszechnie już uznanego kanonu, odbywa się nie bez perturbacji.

## 1.3. Przeshkody utrudniające wdrażanie metod statystycznych w systemach zarządzania

### 1.3.1. Nierzetelne i niedokładne dane wejściowe

Niezbędnym i bodaj najważniejszym warunkiem uzyskania pożytków z prowadzonych analiz statystycznych jest rzetelność danych wejściowych. Wprawdzie zapewnienie stuprocentowej rzetelności wszystkich danych jest trudne do osiągnięcia, powinien to być jednak dla każdej firmy postulat wiodący. Niezgoda nawet niewielu danych ze stanem rzeczywistym może w niesprzyjających okolicznościach skutkować całym ciągiem fałszywych wniosków i lawiną niewłaściwych decyzji, które naruszają spójność logicznego funkcjonowania połączonych ze sobą procesów. I wtedy firma, zamiast działać w ustalonym cyklu doskonalenia, trwoni ludzką energię i kapitał na powstrzymanie spirali destrukcji.

Do przyczyn nierzetelności pozyskanych danych należą:

- a) pomyłki i niejednoznaczności w zapisie (niepoprawne lub niepełne symbole, nieprawidłowe daty, zamienione rubryki, błędy przy przepisywaniu z formularzy papierowych do elektronicznych, nieopisane osie wykresów, brak odwołania do numeru wzoru czy wersji dokumentu uzupełniającego itp.),
- b) niedokładne lub błędne wartości – skutek niewłaściwie dobranej lub źle użytej aparatury pomiarowej bądź braku kwalifikacji czy staranności pracownika wykonującego pomiary (niedbałe odczytanie wskazania, nieuzasadnione zaokrąglenie),
- c) niewłaściwy dobór próby pobranej do badań, w wyniku czego rozkład analizowanych wartości jest znacząco różny od rozkładu w badanej populacji,
- d) niezachowanie procedur monitorowania procesów spowodowane brakiem wiedzy ogólnej i motywacji (zwłaszcza oporem przed innowacjami, postrzeganiem głównie jako biurokratyczne utrudnienie) lub niedostatecznym zrozumieniem skutków zaniedbań, a niekiedy też złą wolą.

O powszechnym występowaniu sytuacji dotyczących ostatniego z wymienionych źródeł niewiarygodności danych świadczą relacje pracowników nadzoru technicznego. Wynika z nich, że nierzadko pracownicy produkcyjni wypełniają karty SPC podczas przerw na posiłki albo pod koniec zmiany, zamiast w ustalonych okresach czy w sytuacjach określonych procedurą.

Wśród środków zapobiegających nierzetelności danych wejściowych można wymienić:

- a) rozwój pozytywnej motywacji pracowników wszystkich szczebli całej organizacji,
- b) dbałość o należytą wiedzę pracowników; doskonalenie zawodowe w zakresie metrologii,
- c) zachowanie reguł *poka-yoke* przy zbieraniu danych (ang. *mistake proofing*, *error proofing* – metoda zapobiegania skutkom pomyłek popełnionych przez brak koncentracji osoby wykonującej zadanie),
- d) przedstawianie danych przy użyciu wielu narzędzi graficznych (przebiegi czasowe, histogram, wykresy pudełkowe, diagram Pareto-Lorenza, diagram korelacji), stosowanie testów do sprawdzania spójności danych i wykrywania błędów, a w przypadkach, gdy korekty bieżące czy powtórne pomiary są niemożliwe – odrzucanie z analizy całej serii danych niewiarygodnych,
- e) zaawansowany nadzór informatyczny nad systemami akwizycji danych.

### 1.3.2. Niedostatek wiedzy o metodach statystycznych i stosowanych narzędziach analizy

Mnogosc istniejących parametrów i metod statystycznych sprawia, że mogą one być stosowane powszechnie, przy zaangażowaniu pracowników o skrajnie zróżnicowanym poziomie wykształcenia i kompetencji.

Ze stosunkowo łatwą sytuacją mamy do czynienia, gdy firma dysponuje pełnym zbiorem danych o swoich zasobach czy efektach działalności. Przykładem takich kompletnych zbiorów, zwanych w języku statystyki populacją, mogą być zapisy księgowe obejmujące roczne wpływy i wydatki, dane osobowe pracowników, czy rejestry środków trwałych. Do syntetycznego przedstawienia populacji, nawet gdy zbiór danych jest bardzo liczny i wielowymiarowy, wystarczy połączenie mechanizmów filtrowania danych ze stosowaniem prostych metod obliczeniowych i narzędzi zaliczanych do kanonu statystyki opisowej. Nie znaczy to jednak, że w takich przypadkach nie spotyka się błędów przy komentowaniu wyników obliczeń i analiz. Nawet proste i wymowne narzędzie wizualizacji danych, jakim jest histogram, może być źródłem mylnych konkluzji. Zdarza się, że zawarta w tego rodzaju wykresach informacja jest interpretowana pobieżnie lub wybiórczo. Świadczą o tym niektóre materiały firmowe przedstawiające histogramy, które nierzadko, wbrew intencjom autorów, zamiast ukazywać dobrą kondycję firmy, ujawniają nieprawidłowości procesów czy zjawisk (dwumodalność rozkładu, wysokie słupki w okolicach granic tolerancji itp.).

Bardziej dotkliwym stanem od natłoku danych jest ich niedostatek. Firma często musi podejmować decyzje na podstawie jedynie danych częściowych. Na przykład, wyniki statystycznej kontroli odbiorczej mało licznej zwykle próby służą za podstawę do przyjęcia lub odrzucenia całej partii wyrobów. Innym przykładem może być konieczność scharakteryzowania rozkładu wartości opałowej ton koksu na podstawie wyników badania zaledwie kilku czy kilkunastu niewielkich próbek pobranych z haldy. W takich sytuacjach pole do stosowania metod statystycznych jest znacznie szersze. Trzeba sformułować hipotezy dotyczące właściwości populacji (całego materiału, który firmę interesuje), dobrać metody i narzędzia analizy odpowiednie do celów z uwzględnieniem charakteru i liczby danych, określić sposób pozyskiwania danych, który zapewni reprezentatywność próby i na koniec – na podstawie rozkładu wyników w próbie, która jest niedoskonałą miniaturą populacji – wyprowadzić poprawne uogólnienia na temat tej populacji, aby można było sformułować użyteczne dla praktyki konkluzje. Osoba lub zespół projektowy odpowiedzialny za tego rodzaju zadania musi gruntownie rozumieć stosowane metody statystyczne, zarówno ich założenia, jak i reguły wnioskowania. Powierzchnowa wiedza pracowników nadzorujących analizy statystyczne może spowodować w firmie wiele szkód.

Za ilustrację tego stwierdzenia posłużyć mogą znane kłopoty z wyznaczaniem popularnych wskaźników zdolności procesu  $C_p$  i  $C_{pk}$ , służących za podstawę do szacowania frakcji niezgodności. Do ich obliczenia służą wprawdzie nader proste wzory, jednak – jak to pokazują przykłady z przedsiębiorstw [10, 11] – zadaniem wcale nietrywialnym może okazać się poprawne estymowanie wartości parametru statystycznego sigma, który w tych wzorach występuje. W efekcie niewłaściwego ustalenia częstotliwości poboru próbek nastąpić może albo przeszacowanie albo niedoszacowanie wzmiankowanych wskaźników (zdarza się nawet, że aż parokrotnie), a pełnią one rolę wizytówki procesu i pośrednio – miary poziomu technologicznego firmy.

Wcale nierzadko spotkać można wyprowadzenie mylnych wniosków na podstawie nawet powszechnie stosowanych parametrów statystycznych, a mianowicie: średniej arytmetycznej (w przypadku rozkładów niesymetrycznych) czy odchylenia standardowego (przy rozkładach leptokurtycznych i platokurtycznych oraz w przypadkach występowania wartości odstających).

Efektom bezrefleksyjnej rutyny jest tworzenie dla wartości oczekiwanej symetrycznych przedziałów ufności jako wielokrotności odchylenia standardowego, nawet wtedy, kiedy nie ma to uzasadnienia probabilistycznego z powodu silnej niesymetrii rozkładu badanej wielkości. Przypisywanie prawdopodobieństwa równego 0,95 przedziałowi dwusigmovemu bez względu na rodzaj rozkładu jest często popełnianym błędem.

Innym przykładem z listy częstych uchybień we wnioskowaniu statystycznym jest nieprawidłowa interpretacja współczynnika korelacji liniowej  $r$ . Można wskazać przynajmniej trzy tego przejawy: a) badanie zbiorów danych zaśmieconych wartościami odstającymi, co może kompletnie zdeformować wynik obliczeń, b) niezrozumienie znaczenia wpływu liczności próby na istotność korelacji (współczynnik  $r = 0,5$  obliczony na podstawie próby o liczności  $n = 10$  nie daje podstaw do stwierdzenia korelacji na poziomie istotności  $\alpha = 0,01$ , ale taka sama wartość  $r$  dla  $n = 400$  jest wyrazem bardzo silnej korelacji), c) wywodzenie z istnienia korelacji statystycznej nie zawsze uprawnionych wniosków o zależnościach przyczynowo-skutkowych pomiędzy badanymi cechami procesu.

O ile do zanalizowania danych wejściowych procesu mogą wystarczyć przy pojedynczych zbiorach stosunkowo proste metody przetwarzania i wizualizacji wyników, to badając połączone szeregowo procesy i wiele wpływających na siebie zmiennych trzeba szukać rozlicznych wzajemnych oddziaływań. Aby szybko wydobyć z gąszcza zarejestrowanej informacji te najbardziej potrzebne i kluczowe dla podejmowanych decyzji, konieczne jest najpierw odfiltrowanie szumu informacyjnego, a potem odpowiednie, niekiedy bardzo kompleksowe, przetworzenie danych. W takich przypadkach zespół projektowy posilkuje się metodami należącymi do wielu działów statystyki, jak: planowanie doświadczeń dotyczących danych wielowymiarowych, stratyfikacja danych, analiza wariancji, analiza regresji z użyciem modeli liniowych i nieliniowych, dekompozycja procesu, optymalizacja statystyczna. Aby zaś dostrzec zjawiska i zależności o mniejszej „sile rażenia”, które jednak mogą okazać się ważne dla praktyki, trzeba czasem odwołać się do metod eksploracyjnej analizy danych, w tym przekopywania danych (zglębiania danych lub zglębiania wiedzy, ang. *data mining*) z użyciem metod sztucznej inteligencji.

Wyciągnięcie użytecznych dla praktyki wniosków z bardziej złożonych analiz wymaga od osób interpretujących wyniki obliczeń nie tylko dobrego zrozumienia stosowanych metod statystycznych, ale również gruntownej wiedzy specjalistycznej i doświadczenia w dziedzinie, której prowadzone analizy dotyczą [12, 13].

## 2. Oprogramowanie statystyczne w systemach zarządzania

### 2.1. Pakiety uniwersalne a oprogramowanie o specjalnym przeznaczeniu

Istnieje bogata oferta komercyjnego oprogramowania do statystycznej analizy danych liczbowych i jakościowych. Najbardziej znane pakiety statystyczne mają przeznaczenie uniwersalne, wobec czego są skomplikowane i na ogół zbyt rozbudowane w porównaniu z potrzebami użytkowników. Przykładowo wymienić można szeroko rozpowszechnione programy Statistica, Statgraphics czy SPSS, których dogłębne opanowanie jest nie lada wyzwaniem nawet dla naukowców. Pozwalają one na wieloaspektową wizualizację danych, wyznaczanie rozlicznych parametrów i wskaźników, testowanie hipotez, badania przebiegów czasowych, umożliwiają też tworzenie modeli matematycznych opisujących zależności między cechami obiektów, badania powiązań między procesami, a także symulację i prognozowanie zjawisk. Ogrom dostępnych funkcji może stanowić dla użytkownika



poważne utrudnienie i wymagać udziału w specjalnych szkoleniach.

Do stosowania w procesach zarządzania najbardziej przydatny wydaje się pierwszy z wymienionych pakietów – Statistica. Jego polski dystrybutor, StatSoft Polska, zadbał o staranne spolszczenie programu, przejrzysty układ i ciekawą zawartość witryny internetowej (www.statsoft.pl), ponadto (co ważne) firma ta korzysta ze wsparcia merytorycznego specjalistów różnych dziedzin, którzy w przystępnej formie, na przykładach z techniki, medycyny czy ekonomii, upowszechniają wiedzę o tym, jak można zaimplementowane w tym pakiecie metody obliczeniowe wykorzystać w praktyce. Kupując pakiet Statistica wraz z modulem QC (Quality Control) nabywca otrzymuje obszerny zestaw funkcji do tworzenia kart kontrolnych, a ponadto narzędzia analizy procesu i planowania doświadczeń. Pakiet ten dobrze nadaje się do projektowania kart kontrolnych, ale niestety – nie do ich prowadzenia. Dołączenie do istniejącego zbioru danych kolejnych wartości wymaga powtórnego uruchomienia analizy. W raportach brakuje wielu istotnych informacji dotyczących badanej cechy i warunków jej sprawdzania. Nie ma też możliwości dostosowania formy raportów do indywidualnych potrzeb użytkownika.

W sprzedaży istnieją też aplikacje ukierunkowane na specjalne zastosowania w dziedzinie zarządzania jakością. Większość z nich służy do wspomagania SPC, jak na przykład anglojęzyczny pakiet CHARTrunner firmy PQ Systems. Pozwala on wprowadzać dane w różnych formatach (Access, Excel, Paradox, Lotus, dBase, ODBC), wybierać testy sprawdzające układ punktów na kartach kontrolnych oraz modyfikować podpisy rysunków. Program może pracować lokalnie jako jednostanowiskowy lub na kilku stacjach roboczych poprzez sieć LAN. Brakuje jednak mechanizmów sprawdzających spójność wprowadzonych danych. Możliwości wpływania na postać raportu są również niewielkie.

Wszystkie programy dostępne na rynku są skompilowane i zabezpieczone przed ingerencją użytkownika, nabywca nie ma więc możliwości wprowadzenia w nich zmian na własną rękę. Tylko nieliczne programy mogą być dostosowane przez dystrybutora do potrzeb użytkownika, oczywiście za dodatkową opłatą.

## 2.2. Oprogramowanie „skrojone na miarę”. Przykłady narzędzi statystycznych opracowanych w środowisku MS Excel

### 2.2.1. Arkusze kalkulacyjne jako narzędzie do prowadzenia analiz statystycznych

Arkusze kalkulacyjne, w tym najpopularniejszy Excel, zarówno w wersji biurowej (MS Office) jak i domowej (MS Home Edition), zawierają wiele funkcji służących do statystycznej analizy danych. Są tu dostępne rozmaite parametry statystyki opisowej, zarówno klasyczne jak i odporne, oraz liczne rozkłady prawdopodobieństwa (m.in. normalny, *t*-Studenta,  $\chi^2$ , Fishera-Snedecora, Weibulla, dwumianowy, hipergeometryczny). Jest też kilka funkcji umożliwiających analizę wariancji i tworzenie modeli regresyjnych (*Reglinx*, *Reglinw*, *Reglinp*) oraz badania korelacyjne, symulacyjne, analizę Pareto.

Wykonywanie obliczeń statystycznych przy użyciu pakietu Excel wymaga jednak docieklivości i determinacji, gdyż wiele funkcji i terminów jest opisanych niezrozumiale, a w tłumaczeniach polskich znajdują się liczne błędy, które – co gorsza – utrzymują się w kolejnych wersjach (np. zamiast terminu

dominanta lub wartość modalna jest tryb, zamiast poprawnego rozstęp jest zakres, zamiast liczebność jest częstość itp.). Ma to naturalnie swoje negatywne konsekwencje. Na przykład, efektem mylących nazw *wykres liniowy* i *wykres punktowy*, jest nagminne wręcz używanie wykresów liniowych do przedstawiania związków między dwiema cechami liczbowymi, podczas gdy ten rodzaj wykresu służy do prezentowania zmiennych dwuwymiarowych, których jeden wymiar (przedstawiony na osi x) jest kategorią a nie liczbą. Małe rozpowszechnienie bardzo przydatnych funkcji tablicowych (np. Częstość, Reglinw) można zapewne również tłumaczyć ich złym objaśnieniem. Wśród narzędzi graficznych ewidentnie brakuje wykresów o dużej użyteczności statystycznej ramka-wąsy (ang. Box-and-Whisker Plot); nie ma ich także w najnowszej wersji oprogramowania.

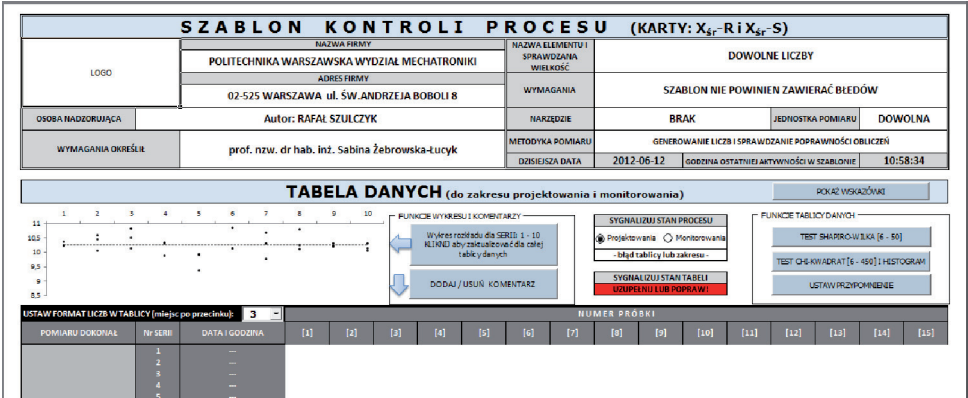
Niedoskonałości programu MS Excel można przezwyciężyć projektując samodzielnie szablony arkuszy, dostosowane do określonych potrzeb użytkownika i wyposażone w zestaw dodatkowych funkcji, które usprawnią prowadzone analizy. Takie „skrojone na miarę” arkusze można spotkać w niejednej firmie; np. w zakładach należących do konsorcjum motoryzacyjnego General Motors stosowane są do monitorowania przebiegu procesów technologicznych.

Również na Politechnice Warszawskiej powstały interesujące narzędzia statystyczne bazujące na programie Excel. Dwa z nich, opracowane pod kierunkiem autorki na Wydziale Mechatroniki w ramach prac dyplomowych inżynierskich, przedstawiono poniżej. Pierwsze służy do kontroli przebiegu procesów z zastosowaniem kart kontrolnych Shewharta, drugie wspomaga statystyczną kontrolę odbiorczą. W obu projektach zastosowano liczne makroinstrukcje języka programowania Visual Basic for Applications – VBA.

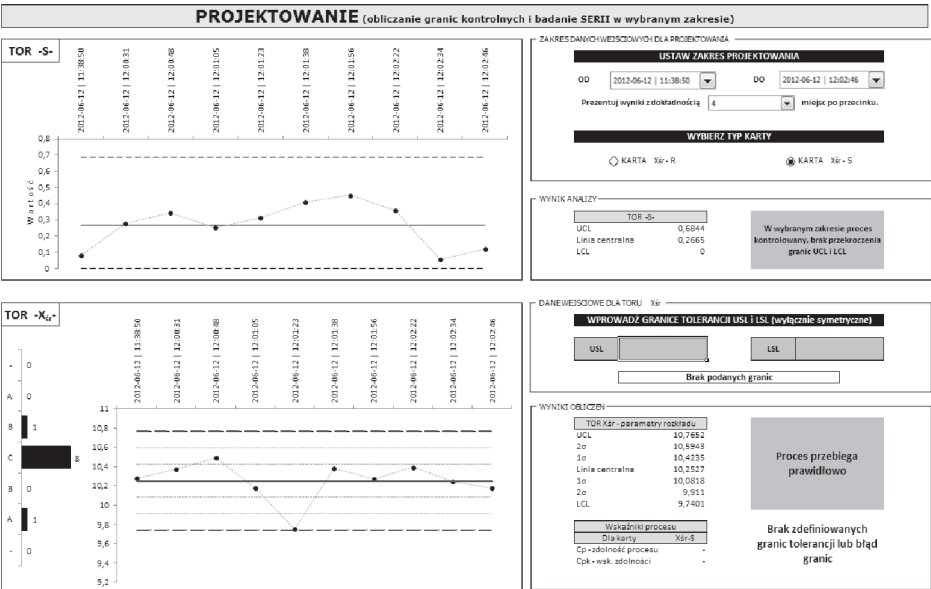
### 2.2.2. Arkusze do monitorowania przebiegu procesów za pomocą kart kontrolnych

Karty kontrolne są od wielu lat podstawowym narzędziem statystycznego sterowania jakością [14] i wchodzą w skład tzw. wielkiej siódemki SPC (Magnificent Seven of Statistical Process Control) Deminga, obecnie nazywanej również starą siódemką. Wyróżnia się dwie ich zasadnicze grupy: karty do oceny liczbowej, oraz karty do oceny nieparametrycznej (inaczej alternatywnej, nieliczbowej). Każda z tych grup zawiera wiele odmian.

Opracowane w Politechnice Warszawskiej narzędzie [15] nosi nazwę Szablon Kontroli Procesu, choć liczba mnoga w nazwie byłaby bardziej adekwatna do jego możliwości. Narzędzie to bowiem automatyzuje ciąg czynności związanych z tworzeniem czterech rodzajów kart. Dwie z nich dotyczą monitorowania cech liczbowych (karta  $\bar{X} - R$  oraz karta  $\bar{X} - S$ ), dwie pozo-



Rys. 1. Przykładowy nagłówek karty dwutorowej utworzonej za pomocą Szablону Kontroli Procesu [15]  
Fig. 1. Example of a chart created using the Szablon Kontroli Procesu (Process Control Template) [15]



Rys. 2. Przykład wyników projektowania karty  $\bar{X} - S$  za pomocą Szablona Kontroli Procesu [15]  
Fig. 2. Example of results of designing the  $\bar{X} - S$  chart using the Szablon Kontroli Procesu (Process Control Template) [15]

stałe zaś cech ilościowych (są to karta frakcji jednostek niezgodnych p oraz karta liczby niezgodności w próbce c).

Każda z zaprojektowanych kart ma pokazywany nagłówek, który zawiera zestaw informacji pozwalających łatwo zidentyfikować badany obiekt i warunki monitorowania procesu (rys. 1). Jest tu więc miejsce na logo firmy, jej nazwę i adres, dane osoby nadzorującej proces i osoby lub jednostki określającej wymagania, nazwę badanych elementów i sprawdzanej cechy, wymagania dotyczące procedury sprawdzenia, nazwę i symbol urządzenia pomiarowego, jednostkę pomiaru itp. Arkusz może również zawierać inne pola, jak: zalecana częstotliwość poboru próbek, nazwa operacji obróbczej, symbol maszyny, symbol narzędzia obróbczego itp.

Procedura statystycznego sterowania procesem została rozdzielona na dwa etapy: pierwszy to projektowanie karty kontrolnej, drugim jest monitorowanie przebiegu procesu z użyciem granic kontrolnych ustalonych podczas pierwszego etapu. Ocena przebiegu procesu jest prowadzona niezależnie dla każdego z etapów. Wypełniony szablon zawiera więc dwa zestawy danych liczbowych oraz ilustracje graficzne osobne dla każdego z etapów.

Podczas pierwszego etapu pobiera się z procesu próbę pilotażową, która służy do wyznaczenia wstępnych charakterystyk liczbowych procesu. Dane liczbowe wprowadzane do arkusza mogą pochodzić z plików utworzonych w innych programach, ze skoroszytów Excela lub można je wpisać bezpośrednio, za pomocą klawiatury. W każdym przypadku rozpoczęcie wprowadzania danych skutkuje pojawieniem się monitu o podanie identyfikatora osoby zmieniającej zawartość arkusza. Również każda późniejsza próba ingerencji w dane już zapisane w arkuszu wymaga podania identyfikatora osoby, a ponadto powoduje automatyczne zapisanie daty wprowadzenia zmiany.

Program sprawdza na bieżąco wprowadzane wartości i nie dopuszcza wartości ewidentnie nieprawidłowych, jak np. znaków literowych w miejscach, gdzie powinny być liczby, niewypełnionych komórek, wartości spoza dozwolonej dziedziny liczb itp. W każdym z takich przypadków następuje zablokowanie edycji i pojawia się komunikat objaśniający tego przyczynę. Wartości pojedynczych obserwacji są od razu przedstawiane na tworzone sukcesywnie wykresie, co ułatwia wychwycenie pomyłek lub wartości odstających.

Po wprowadzeniu dostatecznej liczby (na ogół od 20 do 30) kilku-elementowych serii danych, użytkownik programu, przez naciśnięcie odpowiedniego przycisku, wywołuje funkcję projektowania wybranej przez siebie karty. Na przykład wybór karty  $\bar{X} - R$  powoduje wyznaczenie średniej globalnej oraz uśrednionego odchylenia standardowego, obliczenie dla każdego z torów linii centralnej oraz granic kontrolnych UCL i LCL, a także automatyczne utworzenie dwóch wykresów. Pole na torze  $\bar{X}$  zawarte między granicami kontrolnymi jest dzielone na 6 stref równej szerokości, po trzy z każdej strony linii centralnej. Układ punktów w poszczególnych strefach służy do oceny stabilności procesu. Zaimplementowano 8 testów analizujących układ punktów, w celu wykrycia oznak rozregulowania procesu. Wyniki testów są zestawiane w automatycznie wypełnianej tablicy. Ocenę przebiegu monitorowanych cech procesu sygnalizuje barwa kontrolerek (czerwona lub zielona), umieszczonych obok każdego z torów. W razie niespełnienia choćby jednego z warunków dotyczących dowolnego toru pojawia się komunikat „Proces poza kontrolą”, a w przeciwnym razie – „Proces pod kontrolą”.

Raport dokumentujący cały proces projektowania karty (rys. 2) otrzymuje się wciskając odpowiedni przycisk funkcyjny. Utworzony automatycznie raport można dodatkowo edytować, na przykład można zmienić format liczb czy dodać komentarze.

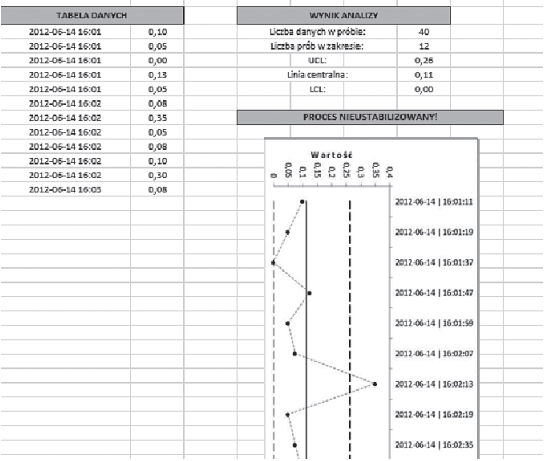
Jeśli na etapie projektowania nie stwierdza się rozregulowania procesu, to można automatycznie przenieść wartości wyznaczonych granic kontrolnych do drugiej części arkusza szablonu, gdzie służą za granice monitorowania procesu. W etapie monitorowania procesu obowiązują te same zasady analizy danych co podczas etapu projektowania karty. Analiza procesu może dotyczyć całego zbioru danych zebranych podczas jego monitorowania lub tylko wskazanego fragmentu (okresu pobierania) danych. Wszystkie granice pozostają tak długo niezmiennie, dopóki użytkownik nie wprowadzi nowych granic (wyznaczonych w kolejnym etapie projektowania).

W szablonie zaimplementowano chronometr, który z ustaloną przez użytkownika częstotliwością przypomina o zbliżającym się czasie pobierania próbek do badań. Pola arkusza zawierające informację o dacie i godzinie ostatniej aktywności są wypełniane automatycznie przez program, zgodnie ze wskazaniami zegara komputera.

Wpisanie do szablonu dwu granic tolerancji monitorowanej cechy (USL i LSL) powoduje obliczenie wskaźników zdolności procesu  $C_p$  i  $C_{pk}$ . Po wyznaczeniu tych wskaźników program wyświetla komunikat informujący czy proces jest zdolny.

Jednym z założeń przyjmowanych przy stosowaniu kart kontrolnych  $\bar{X} - R$  oraz  $\bar{X} - S$  jest normalność rozkładu monitorowanej cechy. Zaprojektowane szablony umożliwiają automatyczne sprawdzenie hipotezy o normalności za pomocą testu Shapiro-Wilka (zalecanego głównie dla mało licznych zbiorów) oraz testu Chi kwadrat (dla zbiorów o liczności co najmniej 30).

Operator, który wypełnia kartę, powinien odnotować na niej wszystkie zdarzenia, jakie mogą mieć wpływ na przebieg procesu, np.: wymiana narzędzia, awaria maszyny itd. Służy do tego celu funkcja pozwalająca na wstawianie komentarzy. Wyniki wszelkich pomocniczych obliczeń są umieszczane w niewidocz-



Rys. 3. Fragment raportu z monitorowania procesu za pomocą karty p [15]  
Fig. 3. Fragment of a report from process monitoring using the p chart [15]

nych częściach arkusza, dzięki czemu zachowana jest przejrzystość wprowadzonych danych i tworzonych wykresów.

Podobnie do kart parametrycznych wyglądają szablony kart p (rys. 3) oraz c. Są one nieco prostsze, gdyż są to karty jednotorowe.

Opracowanie odpornego na błędy obsługi i przejrzystego narzędzia wymagało od jego twórcy [15] niebagatelnego nakładu pracy i rozległych umiejętności programistycznych. Utworzone narzędzie wyróżnia się bardzo korzystnie na tle innych o podobnym przeznaczeniu i bez wątpienia zasługuje na przetestowanie w sytuacjach praktycznych. Cały program Szablon kontroli procesu mieści się w jednym pliku o objętości około 450 kB i może być dość łatwo dostosowany do indywidualnych potrzeb.

### 2.2.3. Arkusze do statystycznej kontroli odbiorczej

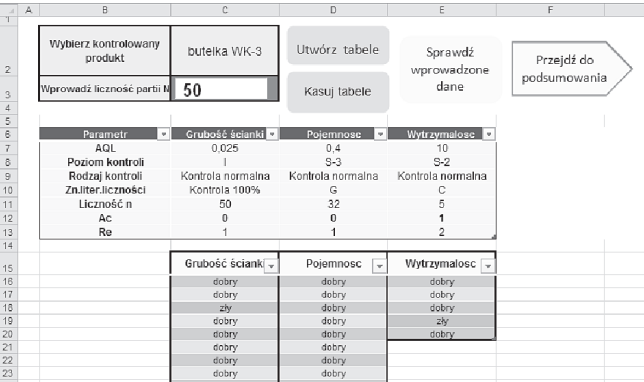
Statystyczna kontrola odbiorcza wyrobów, zwana też kontrolą wyrwykową, jest stosowana we wszystkich gałęziach techniki. Firmy produkcyjne, w których odbywa się taka kontrola, posługują się metodami statystycznymi zarówno dla określania zasad pobierania z dostarczonej partii próbek, jak i podejmując decyzje o przyjęciu bądź odrzuceniu partii.

Największe znaczenie w praktyce przemysłowej ma kontrola statystyczna odbiorcza prowadzona w trybie *partia za partią*, którą stosuje się w odniesieniu do wyrobów dostarczanych systematycznie przez dłuższy czas przez tego samego wykonawcę. Jej stosowaniu towarzyszą jednak spore niedogodności, spowodowane dość złożoną procedurą ustalania liczebności pobieranych próbek i kryteriów akceptowania partii. Zarówno liczebność próbek, jak i kryteria decyzyjne zmieniają się w czasie, gdyż są powiązane z rodzajem kontroli (normalna, ulgowa, obostrzona), a ten zależy od sekwencji wyników kontroli uprzednio odbieranych partii. Stosowanie takiej kontroli bez wsparcia informatycznego grozi pomyłkami i jest uciążliwe, gdyż operator musi odrywać się od zasadniczych czynności kontrolnych aby śledzić historię kontroli kolejnych partii, a następnie poszukiwać potrzebnych danych liczbowych w kilku powiązanych ze sobą tabelach.

W związku z brakiem komercyjnego oprogramowania wspomagającego statystyczną kontrolę odbiorczą, opracowano na Politechnice Warszawskiej kilka specjalnych skoroszytów Excela wspierających kontrolę w trybie *partia za partią* [16]. Służą one do automatyzacji jednostopniowych i dwustopniowych planów kontroli alternatywnej [17] oraz do automatyzacji kontroli statystycznej ze względu na cechy liczbowe [18, 19]. Każdy ze skoroszytów składa się z kilku połączonych ze sobą arkuszy.

|   | A              | B               | C           | D           | E    | F               | G               | H           | I           | J     | K               | L                  |
|---|----------------|-----------------|-------------|-------------|------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|-------|-----------------|--------------------|
|   |                | Srednica otworu | odch. górna | odch. dolna | AQL  | poziom kontroli | Grubość ścianki | odch. górna | odch. dolna | AQL   | poziom kontroli | Wysokość całkowita |
| 1 | Nazwa produktu |                 |             |             |      |                 |                 |             |             |       |                 |                    |
| 2 | butelka WK-3   | 100             | 0,1         | -0,1        | 6,5  | I               | 5               | 0,2         | -0,2        | 0,025 | I               | 100                |
| 3 | butelka WK-4   | 108             | 0,1         | -0,1        | 2,5  | II              | 10              | 0,2         | -0,2        | 2,5   | II              | 200                |
| 4 | butelka WK-5   | 120             | 0,1         | -0,1        | 1    | III             | 15              | 0,2         | -0,2        | 0,4   | II              | 300                |
| 5 | butelka WK-6   | 140             | 0,1         | -0,1        | 0,25 | II              | 20              | 0,2         | -0,2        | 1     | S-4             | 400                |
| 6 | butelka WK-7   | 160             | 0,1         | -0,1        | 1    | S-2             | 25              | 0,2         | -0,2        | 1     | S-2             | 500                |
| 7 |                |                 |             |             |      |                 |                 |             |             |       |                 |                    |

Rys. 4. Fragment arkusza Specyfikacja kontroli wyrobu [17]  
Fig. 4. Fragment of the Specyfikacja kontroli wyrobu (Product control specification) worksheet [17]



Rys. 5. Fragment jednej z wersji Arkusza głównego; kontrola alternatywna [17]  
Fig. 5. Fragment of one of the versions of the Arkusz główny (Main worksheet); alternative control [17]

Arkusz Specyfikacja kontroli wyrobu (rys. 4) zawiera tabele z danymi dotyczącymi kontrolowanych wyrobów (nazwa, wykaz kontrolowanych właściwości wyrobu, wartość nominalna, odchyłki graniczne dla każdej z właściwości), a także ustalenia dotyczące kontroli poszczególnych cech. Są to: uzgodniony między dostawcą a odbiorcą akceptowany poziom jakości AQL (ang. *Acceptance Quality Limit*) oraz poziom kontroli (jeden z podstawowych I, II, III lub specjalnych S-1, S-2, S-3, S-4).

Inne arkusze zawierają tabele z wartościami normatywnymi dla poszczególnych planów kontroli, jeszcze inne wyniki kontroli bieżącej oraz informacje o przebiegu kolejnych kontroli i podsumowania.

Operator posługuje się Arkuszem głównym, który służy do wprowadzania wyników kontroli i pełni rolę panelu sterowania. Za pomocą rozwijanych list i pól wyboru najpierw wybiera kontrolowany produkt i parametry, które będzie sprawdzał (jeśli kontrola jest prowadzona ze względu na wiele cech) a następnie podaje liczbę dostarczonej do odbioru partii. Na tej podstawie Arkusz główny pozyskuje automatycznie z innych arkuszy wszystkie dane potrzebne do przeprowadzenia kontroli, a więc: AQL, poziom kontroli, rodzaj kontroli, znak literowy liczebności próbek, liczebność próby n, liczba kwalifikująca Ac, liczba dyskwalifikująca Rc (rys. 5).

Makroinstrukcje nie tylko wyszukują parametry niezbędne do przeprowadzenia kontroli, ale również tworzą automatycznie odpowiednie tabele do wpisywania wyników pomiaru, podpowiadają operatorowi kolejne kroki postępowania podczas wpisywania danych, podają decyzję o przyjęciu lub odrzuceniu partii i ustalają zasady kolejnych kontroli (np. informują o konieczności zmiany planu kontroli).

Skoroszyty obsługujące poszczególne plany kontroli, dzięki utworzonym w języku Visual Basic makroinstrukcjom, wyręczają pracownika w żmudnych czynnościach, zmniejszają ryzyko wystąpienia błędów, a ponadto tworzą podsumowania z badań długookresowych, co pozwala ocenić jakość dostaw znacznie lepiej niż tylko na podstawie wyników kontroli osobnych partii.



Skoroszyt podsumowujący pobiera informacje ze skoroszytów obsługujących poszczególne plany kontroli i tworzy zestawienia wyników kontroli wszystkich wyrobów. Śledzenie historii kontroli pozwala reagować szybko, gdy pojawią się oznaki pogorszenia jakości.

Warto nadmienić, że arkusze można łatwo modyfikować, aby dostosować je do szczególnych potrzeb i specyfiki firmy. Przy pewnej wiedzy na temat języka VBA nie jest trudno – wzorując się na opracowanych skoroszytach – zaprojektować kolejne, przeznaczone do wspomagania innych rodzajów statystycznej kontroli odbiorczej, jak np. do obsługi planów sekwencyjnych.

Jeśli kontrola produktu obejmuje wiele cech sprawdzanych przez różne osoby, może być celowe dostosowanie arkuszy do pracy współbieżnej.

### 3. Podsumowanie

Wszystkie podejścia do systemów zarządzania (nazywane górnolotnie filozofiami), jak również rozmaite strategie przedsiębiorstw, wykorzystują rozliczne metody analizy danych oparte na zasadach rachunku prawdopodobieństwa i statystyki. Nie ulega wątpliwości, że odpowiednio zastosowane metody statystyczne pomagają firmom w wielu obszarach ich działalności, m.in. ułatwiając wykrywanie przyczyn zmienności, która występuje na różnych etapach „życia” wyrobu – od badania rynku, przez prace nad prototypem, produkcję, sprzedaż i obsługę klienta.

W wielu sytuacjach posługiwanie się narzędziami statystycznymi nie wymaga od użytkownika wiedzy z zakresu statystyki, gdyż prawie wszystkie czynności przy zbieraniu i wprowadzaniu danych do systemu można zalgorytmizować i jednoznacznie opisać. Świadczy o tym choćby rozpowszechnienie kart kontrolnych, które nierzadko wypełniane są przez operatorów maszyn, bezpośrednio na stanowisku roboczym. Pracownik winien jedynie przestrzegać ustalonych procedur, a więc w odpowiednim czasie dokonywać obserwacji (pomiarów), rejestrować je i sprawdzać, czy zadane warunki (zdefiniowane jako stany graniczne lub układy punktów na wykresie) nie zostały przekroczone.

Dobór metod statystycznej analizy danych i formułowanie wniosków należy powierzyć zespołom złożonym z osób, które dobrze rozumieją cel prowadzonych analiz, znają warunki pozytywności danych i posiadają odpowiednią wiedzę statystyczną.

Analizy statystyczne wspomagające monitorowanie procesów systemu zarządzania wymagają szerokiego stosowania narzędzi informatycznych. Powinny to być narzędzia dobrze dopasowane do potrzeb użytkowników i łatwe do wdrożenia. Tymczasem dostępne na rynku programy statystyczne są zwykle skomplikowane i zbyt rozbudowane w zestawieniu z potrzebami firm produkcyjnych czy usługowych. Poza tym są one na ogół drogie, zważywszy, że oprócz ceny zakupu należy uwzględnić koszty wdrożenia na wielu stanowiskach a także utrzymania licencji i szkolenia użytkowników. Nabywca takich programów nie ma dostępu do ich postaci źródłowej, nie może więc ich dostosować do swoich potrzeb i do specyfiki własnej organizacji. Stanowi to poważny mankament, biorąc pod uwagę wymagania dotyczące opisu dokumentów przepływających wewnątrz firmy i między firmami.

Przedstawione w rozdziale drugim niniejszego artykułu dwa oryginalne rozwiązania programistyczne z zastosowaniem MS Excel są wolne od tej wady. Posługując się gotowym uniwersalnym szablonem (punkt 2.2.2) czy też zbiorem skoroszytów (2.2.3), użytkownik może nadal korzystać z wszystkich standardowych funkcji i pasków narzędzi programu MS Excel. Dzięki temu nawet te osoby, które nie potrafią programować, mogą wprowadzać w arkuszach zmiany i uzupełnienia, z uwzględnieniem przyjętych w firmie ustaleń organizacyjnych i stosownie

do ewoluujących potrzeb jednostki. Opanowanie obsługi przedstawionych w artykule narzędzi nie wymaga wielogodzinnych szkoleń i treningów. Użytkownik ma bowiem do swojej dyspozycji specjalne przyciski funkcyjne i pola wyboru, dzięki czemu obliczenia wykonywane są automatycznie, a ryzyko popełnienia pomyłek jest znikome.

### Bibliografia

1. Aczel A.D., *Statystyka w zarządzaniu*. PWN, Warszawa 2011.
2. Eckers G., *Rewolucja Six Sigma – jak General Electric i inne przedsiębiorstwa zmieniały proces w zyski*, MT Biznes, Warszawa 2010.
3. Łańcucki J. (red.), *Podstawy kompleksowego zarządzania jakością TQM*. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, Poznań 2006.
4. Lock D., *Podręcznik zarządzania jakością*, PWN, Warszawa 2002.
5. Hamrol A., Mantura W., *Zarządzanie jakością. Teoria i praktyka*, PWN, 2006.
6. Chrapko M., *CMMI – doskonalenie procesów w organizacji*. PWN, Warszawa 2010.
7. PKN-ISO/TR 10017:2005 *Wytyczne dotyczące technik statystycznych odnoszących się do ISO 9001:2000*.
8. PN-ISO 10576-1:2006P *Metody statystyczne. Wytyczne oceny zgodności z określonymi wymaganiami. Część 1: Zasady ogólne*.
9. ISO/TS 16949:2009 *Quality System Requirements QS-9000*.
10. Ramos A.W., *Statistical process control on the paper machine*. TAPPSA Journal, 2006.
11. Wise S., Fair D., *New approaches to SPC: implementing control charts appears easy, but appearances can be deceiving*. Quality, November 1, 2001.
12. Amasaka K., Osaki S., *The promotion of the new statistical quality control internal education at Toyota Motor: A proposal of 'science statistical quality control' for improving the principle of total quality management*. European Journal of Engineering Education, Vol. No 3, 24, 259–276, 1999.
13. Chihiro Hirotsu, *Statistical training of researchers in total quality management: The Japanese experience*, [in:] Batanero C. (ed.), "Training researchers in the use of statistics", 53–63, 2001.
14. PN-ISO-7870-2006P: *Karty kontrolne – Ogólne wytyczne i prowadzenie*.
15. Szulczyk R., *Opracowanie zintegrowanego zestawu narzędzi do monitorowania przebiegu procesów z wykorzystaniem pakietu Microsoft Excel*. Praca dyplomowa inżynierska pod kierunkiem S. Żebrowskiej-Łucyk, Politechnika Warszawska, 2012.
16. Markowski A., *Projekt monitorowania procesów kontroli statystycznej odbiorczej przy użyciu arkuszy kalkulacyjnych z makroinstrukcjami*. Praca dyplomowa inżynierska pod kierunkiem S. Żebrowskiej-Łucyk, Politechnika Warszawska, 2012.
17. PN-ISO-2859-1:2003P *Procedury kontroli wyrywkowej metodą alternatywną. Część 1: Schematy kontroli indeksowane na podstawie granicy akceptowalnej jakości (AQL) stosowanej do kontroli partii za partią*.
18. ISO 3951-1:2005 *Sampling procedures for inspection by variables – Part 1: Specification for single sampling plans indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection for single quality characteristic and single AQL*.
19. ISO 3951-2:2006 *Sampling procedures for inspection by variables – Part 2: General specification for single sampling plans indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection of independent quality characteristics*.

# Practical Aspects of Applications of Statistical Methods in Management System Processes

**Abstract:** Areas of application of statistical methods in the management processes were outlined. Circumstances that foster introduction of those methods into business practice, including external factors and availability of appropriate IT infrastructure in a company, were indicated. Existing threats and difficulties associated with quality of the process input data and skills of the involved staff were pointed out. Statistical analysis software commercially available in the market was briefly characterized covering both universal and special purpose software examples. In the light of that review, two original information technology tools developed at the Warsaw University of Technology were discussed. The developed tools are open source VBA projects working in the MS Excel environment, which can be introduced to the business practice with low cost and effort, and additionally they can be easily tailored to the requirements of the particular application by the user.

**Keywords:** management system, statistical methods, statistical analysis software

**dr hab. inż. Sabina Żebrowska-Łucyk, prof. PW**

szl@mchtr.pw.edu.pl

Prowadzi badania naukowe i kieruje projektami z zakresu metrologii oraz inżynierii jakości z uwzględnieniem technik multimedialnych. Zajmuje się też zastosowaniami metod statystycznych w badaniach naukowych i praktyce laboratoryjnej.

