



## **SYSTEMOWE PODEJŚCIE DO ZBIERANIA I ANALIZOWANIA DANYCH KLUCZEM DO REDUKCJI KOSZTÓW**

*Michał Iwaniec, StatSoft Polska Sp. z o.o.*

Dzisiejszy rozwój i globalna konkurencja pozostawiają coraz mniej miejsca na błędy oraz brak wydajności, co tłumaczy, dlaczego już na stałe do języka biznesowego weszły takie pojęcia jak SixSigma czy Lean Management. Obie nazwy oznaczają przyjęcie na poziomie przedsiębiorstwa strategii, pozwalającej na lepsze wykorzystanie surowców i zasobów we wszystkich aspektach działalności firmy. Kluczem do rozwoju jest więc identyfikowanie procesów przedsiębiorstwa i usprawnianie ich w celu poprawy wydajności. W zasadzie wszystkie strategie kompleksowej poprawy jakości opierają się na założeniu, że strategiczne decyzje (i nie tylko) będą podejmowane w oparciu o rzeczywiste, „twarde” dane dotyczące procesów. Nasuwa się więc pytanie, jak powinny zostać zorganizowane zadania wykorzystywane we wszystkich zagadnieniach związanych z projektami np. SixSigma. Otóż wszędzie będą wykonywane, w mniejszym lub większym stopniu, działania związane z przechowywaniem i analizowaniem danych, a następnie z rozpowszechnieniem zdobytej wiedzy w przedsiębiorstwie. Jeżeli system ten nie będzie działał poprawnie, wtedy cała maszyna, jaką jest strategia poprawy konkurencyjności, będzie działać nieefektywnie.

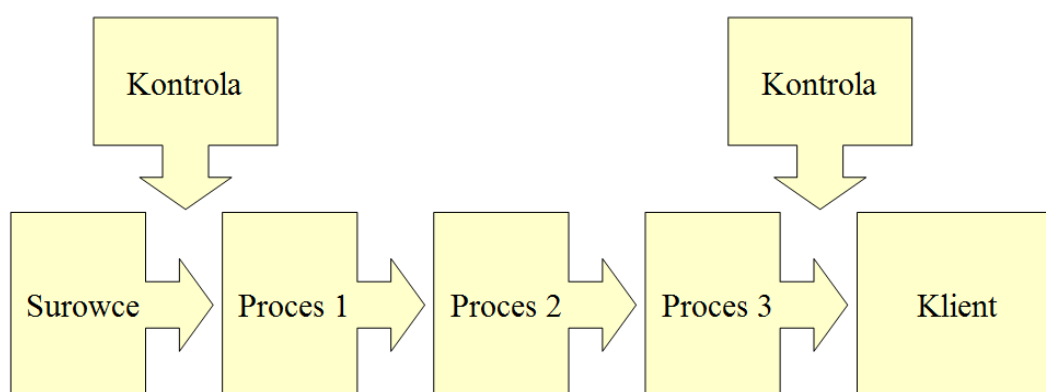
W artykule omówionych zostanie kilka kluczowych zagadnień, które są związane z tym problemem. Pierwszym i podstawowym pytaniem jest, jak zbudować zintegrowany system analityczny do sterowania. Dlaczego jest to takie ważne? Otóż wiele organizacji, zwłaszcza związanych bezpośrednio z produkcją dysponuje systemami do zbierania danych, ich przechowywania oraz analizowania. Pomijając fakt, że poszczególne elementy mogą działać nieefektywnie, bardzo często zdarza się, że nie współpracują ze sobą – informacje zgromadzone w jednym miejscu bardzo trudno jest wykorzystać w innym. Przyczyn braku integracji może być kilka. Może to wynikać np. z faktu, że dane gromadzone są w formie papierowej, analizowane po przepisaniu do komputera, natomiast raporty dla zarządu przedstawiane są w jeszcze innej formie. Przez to droga, jaką musi pokonać informacja, wędrując przez przedsiębiorstwo, jest trudna i pełna miejsc, w których informacja ta może zostać zniekształcona. Przetwarzanie danych w takim systemie jest czasochłonne i często generuje nieprzewidziane koszty, związane np. z utratą danych.

Kolejnym problemem jest zaprojektowanie i zbudowanie wszystkich elementów systemu tak, aby każdy z nich działał efektywnie oraz niezawodnie. W dalszej części zostaną omówione poszczególne elementy systemu.



## Rozwój systemów sterowania jakością

Naturalne jest, że wraz z nastaniem ery przemysłowej zakłady produkcyjne stanęły przed nowymi wyzwaniami. Jednym z nich było zapewnienie odpowiedniej jakości produkowanych wyrobów, co jednak często okazywało się trudne lub wręcz niemożliwe do zrealizowania bez użycia odpowiednich technik. Wcześniej w przypadku produkcji jednostkowej ocena jakości mogła być przeprowadzana w trakcie tworzenia wyrobu. W przemyśle większość czynności jest natomiast wykonywana przez maszyny i często procesy produkcji są wielostopniowe. Jeżeli więc założymy, że proces będzie kontrolowany tylko na wejściu i na wyjściu, to okaże się, że pominiętych zostanie bardzo wiele czynników odpowiedzialnych za ostateczną jakość.



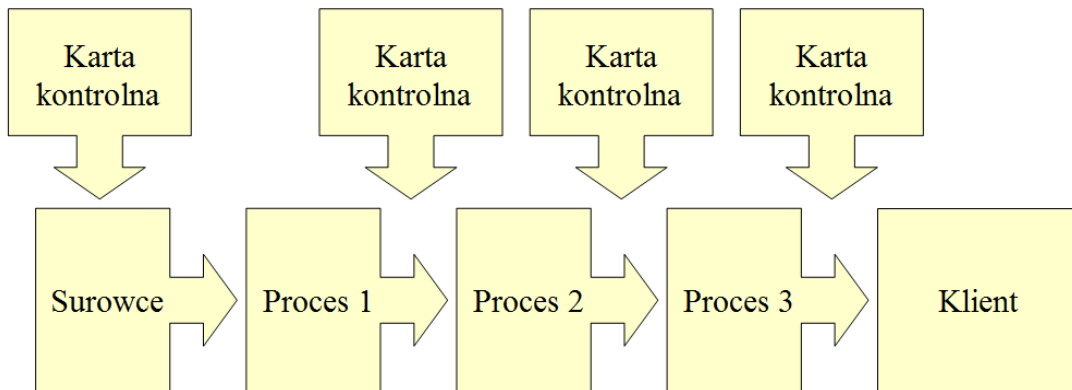
Rys. 1. Przykład kontroli jakości w produkcji.

Na rys. 1 przedstawiony jest bardzo prosty schemat kontroli jakości. System taki być może jest w stanie zapewnić dostarczenie do klienta wyrobu o zadowalającej jakości, ale prawdopodobnie będzie wiązał się z wysokimi kosztami. Dlaczego? Zwróćmy uwagę na relacje pomiędzy producentem a dostawcami surowców. Jeżeli surowce dostarczane są w partiach, można wprowadzić system kontroli partii oparty na AQL. System taki będzie działał poprawnie tylko w tym przypadku, kiedy partie dostarczanego surowca będą zazwyczaj akceptowalne. W przeciwnym przypadku surowiec będzie musiał być segregowany lub zwracany dostawcy i co prawda to on poniesie bezpośrednie koszty jego słabej jakości, lecz surowca będzie brakować na wejściu naszego procesu, a my poniesiemy koszt sprawdzania i przechowywania wadliwego surowca. Jeżeli surowiec jest akceptowalny, wtedy zostanie przetworzony w kilku fazach produkcyjnych na produkt końcowy i jego jakość zostanie zweryfikowana. Tutaj znowu może się okazać, że partia produktu nie spełnia wymagań, i tym razem to producent ponosi związane z tym koszty i jednocześnie ma problemy z dostarczeniem wyrobu do klienta. W przypadku rozwiniętego łańcucha producentów zaburzenia takie będą powodować duże koszty związane chociażby z przestojami.

Niestety, aby zapobiec takiej sytuacji, musi zostać podjęty wysiłek, który pozwoli na uniknięcie tych problemów. Rozwiązanie podał już dawno temu Shewhart, wprowadzając na halę produkcyjną karty kontrolne, które działając w oparciu o prawa statystyczne, pozwoliły nie tyle kontrolować jakość, co nią sterować. Przejście z kontroli jakości na sterowanie jakością jest bardzo istotną zmianą, gdyż pomaga zapobiegać wyprodukowaniu

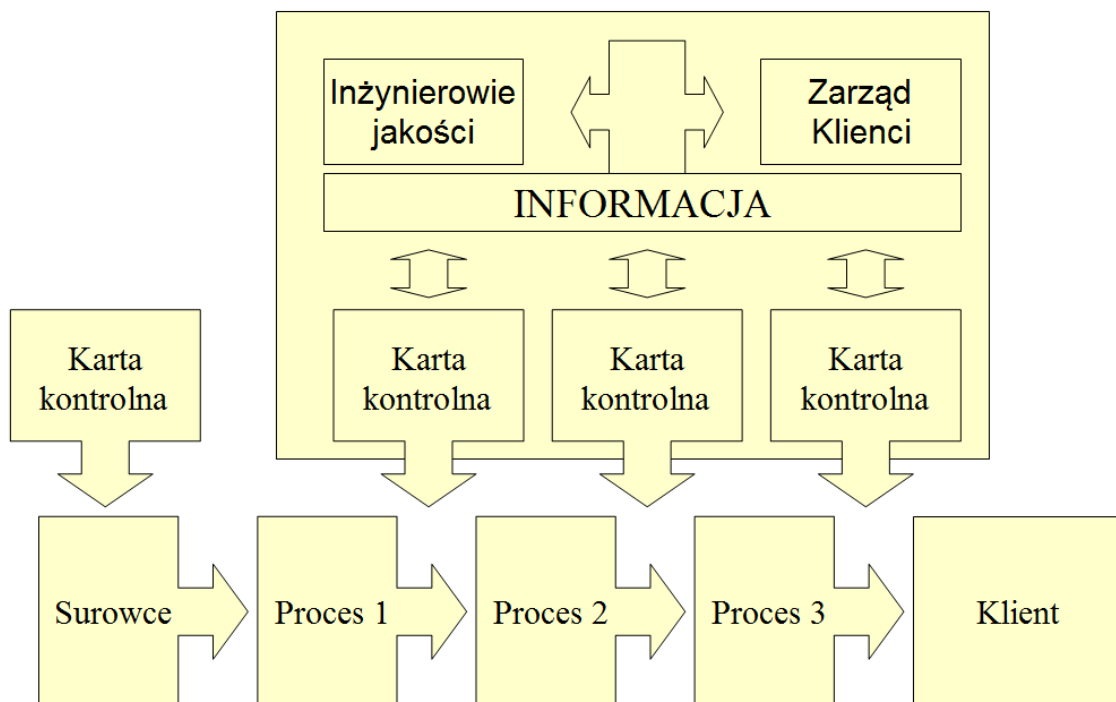


partii produktów, które nie będą spełniać stawianych im wymagań. W przypadku długiego łańcucha dostawców konieczne było „wymuszenie” na dostawcach zastosowania odpowiednich technik sterowania jakością, co z punktu widzenia producenta zapobiegało problemom z jakością surowców lub półproduktów. Takie podejście spotykane jest między innymi w przemyśle samochodowym. Okazało się, że jeżeli w odpowiednich miejscach procesu wytwarzania zostaną zastosowane (nawet prowadzone w formie papierowej) karty kontrolne, pozwoli to w znacznym stopniu poprawić jakość całego procesu wytwarzania. Na rys. 2 przedstawiona jest różnica pomiędzy kontrolą a aktywnym sterowaniem jakością.



Rys. 2. Przykład sterowania jakością.

Został więc wykonany pierwszy krok: mamy w łańcuchu procesów produkcyjnych wdrożony system sterowania jakością.



Rys. 3. Przykład przepływu informacji w systemie SPC.



Postępując zgodnie z którąkolwiek z idei ciągłej poprawy jakości, należy zadać pytanie: Czy system ten jest odpowiednio wydajny? W czasach, kiedy wdrażane były pierwsze karty kontrolne, czyli prawie sto lat temu, wydajności takiego systemu nie można było już poprawić. Zupełnie nowe możliwości pojawiły się wraz z pojawieniem się komputerów, a zwłaszcza wtedy, kiedy zaczęto łączyć je w sieci, co z wielokrotnością ich możliwości. Dzisiaj, kiedy komputer podłączony do sieci nie jest niczym egzotycznym, trudno wyobrazić sobie brak ich zastosowania w dziedzinie systemowego sterowania jakością. Otóż wszystkie punkty sterowania jakością można scentralizować i, co za tym idzie, rozpoznać wiedzę związaną z danymi i dzięki temu uzyskać kolejne korzyści. Rys. 3 przedstawia ogólny schemat z informatyzowanego systemu SPC, który jest przedmiotem tego artykułu.

## Rozwiązanie szyte na miarę

Pierwszym krokiem podczas tworzenia systemu do zbierania danych i wykonywania analiz (związanych bezpośrednio z produkcją i SPC oraz z innymi dowolnymi zadaniami w strategii jakości) jest stworzenie schematu bazy danych. Oczywiście, aby w ogóle taki schemat stworzyć, użytkownik musi zdecydować się na odpowiedni system informatyczny. Wybór takiego systemu zależy głównie od skali całego przedsięwzięcia. Jeżeli system będzie niewielki, prawdopodobnie wystarczy np. baza *MS Access*, niemniej jednak w rozwiązaniach przeznaczonych dla przedsiębiorstw lepiej sprawdzą się bardziej wydajne systemy, takie jak *MS SQL Server* firmy *Microsoft*, czy też *Oracle*. Warto zwrócić uwagę na fakt, że o tym, czy system można uznać za duży lub za mały, decydują dwa główne czynniki: liczba użytkowników korzystających z systemu, ilość danych, które system będzie musiał pomieścić (ile danych będzie zbieranych oraz jaka jest częstotliwość ich pobierania), a także liczba generowanych raportów.

Etap projektowania i tworzenia bazy danych jest kluczowy dla całego procesu wdrażania zintegrowanego systemu analitycznego. W przypadku zagadnień produkcyjnych, zanim etap ten zostanie zakończony, zespołowi, który tworzy system, musi zostać przekazana odpowiednia wiedza o procesach produkcyjnych, ich właściwościach (charakterystykach), które mają być monitorowane, specyfikacjach dla właściwości, jak również oczekiwaniach wobec systemu jakości. Wszystkie kluczowe informacje dotyczące systemu będą mieć większe lub mniejsze odzwierciedlenie w strukturze bazy danych. Schemat bazy danych jest w zasadzie ogólny dla wszystkich problemów produkcyjnych, niemniej jednak musi zostać dostosowany do specyfiki danego przedsiębiorstwa. Dobrze i elastycznie zaprojektowana baza danych gwarantuje, że nie trzeba będzie wprowadzać zmian podczas wdrażania kolejnych elementów systemu. Na tym etapie powinny zostać również uwzględnione scenariusze, które mogą mieć miejsce w przyszłości, takie jak np. dodanie w zakładzie nowych linii produkcyjnych.

Załóżmy, że mamy do czynienia z najprostszym rodzajem produkcji, z punktu widzenia monitorowania procesu. Na kilku liniach produkowane są elementy z metalu. Elementy te mogą być różnych typów, każdy typ może występować w kilku rozmiarach oraz może być



wykonywany z różnego rodzaju materiałów. Każdy z elementów jest produkowany na potrzeby firm zewnętrznych, w związku z czym ważne jest, aby elementy te spełniały narzucone specyfikacje dla różnych parametrów tychże produktów. Aby móc odpowiednio monitorować jakość produkowanych elementów, wykonywanych jest kilka pomiarów, takich jak: wymiary elementu, jego waga, czy też grubość lakieru; innymi słowy na każdej z linii znajduje się kilka urządzeń pomiarowych. Dla użytkownika systemu ważne jest również, aby identyfikować operatorów, którzy wprowadzają dane do systemu, dzięki czemu można potem rozdzielić dane zebrane przez różnych pracowników (ma to duże znaczenie np. podczas analizy systemów pomiarowych).

Schemat bazy danych powinien uwzględniać wszystkie powyższe założenia. Utworzona zostanie baza typu produkcyjnego, w związku z czym jej najważniejszą tabelą, która będzie stanowić centrum logiki tego schematu, będzie tabela zawierająca pomiary zbierane na linii produkcyjnej. Można do problemu podejść w prosty sposób, niewymagający większego nakładu pracy, tzn. można by stworzyć pojedynczą tabelę, gdzie w kolejnych kolumnach zawarte będą wszystkie informacje. W naszym przypadku w tabeli będą się zawierać: data, wartości pomiarów kolejnych właściwości, rodzaj wyrobu, rozmiar wyrobu, materiał, linia, operator, numer serii, specyfikacje oraz pola zawierające przyczyny, działania, komentarze oraz kody uwzględnienia (których funkcja zostanie opisana dalej). Niestety tak skonstruowana „płaska” struktura po pierwsze szybko będzie zwiększać objętość przez to, że będzie przenosić dużo nadmiarowej informacji, i po drugie skorzystanie z danych zawartych w takiej tabeli będzie trudne. Rozwiązaniem tych problemów będzie stworzenie kilku tabel, które będą ze sobą powiązane logicznymi relacjami. Dla naszego przykładu powinny zostać stworzone następujące tabele zawierające informacje o: produktach, użytkownikach, liniach, etykietach (przyczyny działania, komentarze, uwzględnienia), pomiarach produkcyjnych. Tabela zawierająca pomiary nadal będzie największa, ale będzie zawierać minimum danych. Będzie zawierać głównie informacje, które się nie powtarzają, czyli np. data czy wartości pomiarów, natomiast informacje dodatkowe przechowywane będą w pozostałych tabelach, i chcąc uzyskać szczegółowe informacje, należy odwołać się do nich poprzez odpowiednią relację do innej tabeli. W takim rozwiązaniu dużo łatwiej jest zarządzać produktami, np. dodać nowy produkt, gdyż wszystkie potrzebne informacje znajdują się w oddzielnej tabeli.

W przypadku danych niezwiązanych bezpośrednio z produkcją schemat będzie bardzo podobny. Rozważmy dla przykładu proces tworzenia dokumentów. Dokumenty mogą zostać podzielone na rodzaje, jak również mogą różnić się w zależności od działu. Wskaźnikiem charakteryzującym proces może być liczba popełnianych w dokumencie błędów. Analogicznie jak dla produkcji informacja o liczbie błędów może być wprowadzana do odpowiednio przygotowanej bazy danych w celu późniejszej obróbki.

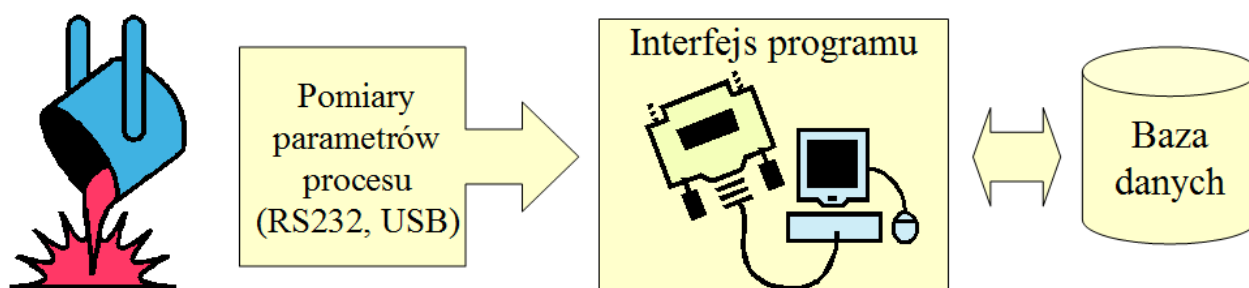
## Pomiary i wprowadzanie danych

Jeżeli został stworzony odpowiedni schemat bazy danych, można przystąpić do części systemu odpowiedzialnej za pomiary. O ile poprzedni etap był zagadnieniem informatycznym



i wiązał się raczej z logiką powstającego systemu, to stworzenie odpowiedniego systemu pomiarowego, który będzie działał niezawodnie, związane jest już z samym zagadnieniem sterowania jakością. Sterowanie jakością opiera się na realnych danych i od tego, jakiej one będą jakości, zależy skuteczne wykrywanie rozregulowań procesu. Naturalną cechą zjawisk w przyrodzie, a w szczególności procesów produkcyjnych, jest zmienność. Będziemy chcieli kontrolować zmienność tych procesów np. na kartach kontrolnych, ale aby było to skuteczne, zmienność pochodząca od systemów pomiarowych powinna być odpowiednio mniejsza, tak aby narzędzia statystyczne reagowały na rozregulowania procesów, a nie systemów pomiarowych.

Etap ten składa się zazwyczaj z dwóch części: zidentyfikowania i podłączenia urządzeń pomiarowych oraz stworzenia interfejsu do wprowadzania danych dla operatorów. Dane z urządzeń pomiarowych można wprowadzać ręcznie (z klawiatury) lub automatycznie wprost z urządzenia pomiarowego do komputera. Wprowadzanie pomiarów w sposób automatyczny ma dużą przewagę nad wprowadzaniem ręcznym. Po pierwsze jest szybsze, a co za tym idzie tańsze, a po drugie eliminuje możliwość popełnienia „literówki” przez operatora. Podczas wstępnego rozpoznawania wymagań dla systemu pomiarowego, warto zapewnić, aby sprzęt pomiarowy miał możliwość przesłania pomiaru do komputera PC. Najczęściej używanym standardem podłączenia jest interfejs *RS-232*, *Opto-RS* lub *USB*. Sygnał z miernika (zawierający wartość pomiaru) przesyłany jest do portu szeregowego komputera, gdzie musi zostać przechwycony przez odpowiednie oprogramowanie. Oprogramowaniem tym zazwyczaj będzie specjalnie stworzony interfejs dla operatorów do wprowadzania danych. Interfejs taki (aplikacja Windows) powinien zostać dopasowany do potrzeb każdego użytkownika i trudno tutaj mówić o jakimś standardzie. Wiąże się to ściśle ze specyfiką danej produkcji, tzn. przede wszystkim z liczbą zbieranych pomiarów oraz sposobem ich wprowadzania.



Rys. 4. Wprowadzanie danych z poziomu operatora.

Dla interfejsu ważne jest, aby został on zaprojektowany w sposób, który pozwoli wykonać pomiary w jak najkrótszym czasie i w jak najbardziej niezawodny sposób. Użytkownicy systemów do SPC często podkreślają, że głównym zadaniem operatora jest nadzór nad poprawnym działaniem linii produkcyjnej, a samo SPC jest w zasadzie działaniem ubocznym. W domyśle zakładamy, że proces przez większość czasu będzie działał poprawnie i nie będzie z nim problemów – będzie stabilny w sensie statystycznym. W zasadzie monitorowanie procesu na bieżąco stanowi margines działań operatora. Staje się ono kluczowe w niewielu momentach, kiedy proces zaczyna się z pewnych przyczyn rozregulowywać.



Wtedy system SPC wychodzi na pierwszy plan, informując o tej sytuacji operatora, dzięki czemu jest on w stanie odpowiednio szybko zareagować na problem, zanim linię produkcyjną zaczną opuszczać elementy niespełniające specyfikacji. Po zażegnaniu problemu, system SPC znowu odsuwa się w cień, czuwając cały czas nad jakością procesu.

Interfejs, który operator widzi na monitorze komputera, stanowi łącznik pomiędzy urządzeniem pomiarowym a bazą danych. Pobrany z linii produkcyjnej element jest mierzony przez operatora, a wynik pomiaru poprzez port komputera jest pobierany przez program do wprowadzania danych. Następnie, po zatwierdzeniu wartości lub w sposób automatyczny, program przesyła pomiar do bazy danych, dbając o to, aby został on opatrzony odpowiednimi etykietami, które umożliwią jego późniejszą identyfikację. W celu wykrycia grubych błędów czy też awarii systemów pomiarowych dla danego produktu i jego cechy można zdefiniować tzw. rozsądne granice. Jeżeli będzie mierzona przykładowo waga danego elementu, wtedy z pewnością błędnym pomiarem będzie ujemna wartość wagi. W takim przypadku operator zostanie poinformowany o tym fakcie i może np. szybko ustawić nową wartość zerową dla wagi (jeżeli to było przyczyną błędnego odczytu). Błędny wynik pomiaru powinien mimo wszystko zostać zapisany w bazie danych, niemniej jednak powinien również zostać opatrzony odpowiednią etykietą podającą przyczynę takiego zdarzenia. Co jakiś czas tego typu zdarzenia powinny być analizowane przez inżyniera. W wyniku analizy może okazać się, że jeden z operatorów nie radzi sobie z konkretnym urządzeniem pomiarowym i wymaga przeszkolenia.

Warto zauważyć, że program do wprowadzania danych nie tylko przesyła dane do bazy, ale także pobiera z niej informacje. Mogą to być definicje połączenia z komputerem dla poszczególnych urządzeń pomiarowych, czy też granice rozsądnych wartości dla poszczególnych właściwości aktualnie produkowanego wyrobu.

Kolejnym elementem systemu, który nie służy do bezpośredniego wprowadzania pomiarów, niemniej jednak jest równie ważny, jest program pozwalający np. na zmiany specyfikacji zawartych w bazie danych. Zazwyczaj z narzędzia tego korzystał będzie inżynier, w przypadku kiedy zaistnieje potrzeba dodania nowego produktu, dodania nowej linii produkcyjnej czy też wprowadzenia jakichkolwiek innych globalnych zmian.

Mówiąc o zbieraniu danych, trudno nie wspomnieć o automatycznych systemach akwizycji danych. Coraz częściej spotykane są urządzenia pomiarowe instalowane na linii produkcyjnej. Nawet same urządzenia produkcyjne mają możliwość wykonywania i przesyłania pomiarów w trakcie trwania produkcji. Wtedy zazwyczaj do bazy danych wędruje duża liczba pomiarów, co pozwala bardzo dokładnie monitorować proces. Do grupy pomiarów automatycznych można również zaliczyć przypadek, gdy pomiar dokonywany jest na skomplikowanym urządzeniu, które generuje dużą liczbę danych w postaci np. plików tekstowych lub plików MS Excel i nie ma (z różnych przyczyn) możliwości przesłania danych bezpośrednio do bazy. Jedną z przyczyn może być duży stopień komplikacji generowanych przez takie urządzenie wyników. W takim przypadku dobrym rozwiązaniem jest stworzenie dodatkowego interfejsu, pozwalającego na automatyczne przenoszenie zawartości plików do bazy.



## Monitorowanie i analiza procesów

Podstawową funkcją systemu SPC jest monitorowanie na bieżąco jakości procesu. Aby było to możliwe, zwłaszcza w dużych zakładach, niezbędne są elementy opisane w poprzednich rozdziałach: stworzenie centralnej bazy danych oraz systemu do wprowadzania tychże danych. System do wprowadzania danych ma za zadanie szybkie i niezawodnie wprowadzanie wartości pomiarów właściwości produktów, natomiast odpowiednio skonstruowany system bazodanowy zapewnia integralność danych w systemie sterowania jakością, który zazwyczaj jest systemem rozproszonym.

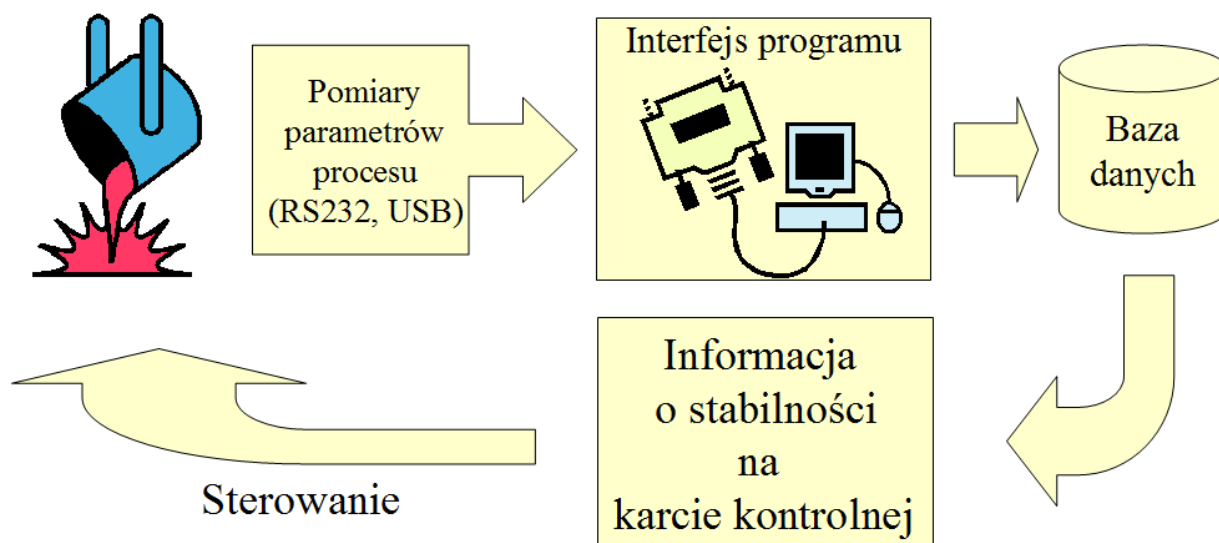
W zagadnieniu sterowania jakością można wyróżnić dwie główne warstwy: niższą, znajdującą się na poziomie procesów produkcyjnych oraz wyższą, znajdującą się na poziomie inżynierów jakości. Warstwa niższa jest związana z rutynowym monitorowaniem procesu na bieżąco. Ważne jest tutaj, aby system działał w czasie rzeczywistym. Oznacza to, że potencjalne problemy z procesem produkcyjnym powinny być wykrywane odpowiednio wcześnie – przed wyprodukowaniem elementów niespełniających specyfikacji. Dla różnych procesów pojęcie czasu rzeczywistego będzie inne. Najprościej można powiedzieć, że system powinien reagować odpowiednio szybko, niezależnie od tego, czy dany produkt schodzi z linii produkcyjnej co 1/10 sekundy czy co 10 minut. To, czy system będzie w stanie zareagować odpowiednio szybko, zależy przede wszystkim od liczby pobieranych do kontroli elementów oraz od częstotliwości poboru próbki. Decyzja o doborze odpowiednich parametrów jest dla danego procesu produkcyjnego kluczowa i zawsze jest wynikiem pewnego kompromisu.

Zwróćmy uwagę na samą ideę statystycznego sterowania procesem. Technika ta stanowi kompromis pomiędzy ryzykiem wyprodukowania towaru niespełniającego wymagań klienta a często kosztowną kontrolą wszystkich wyprodukowanych elementów. Na pierwszy rzut oka mogłoby się wydawać, że 100% kontrola wszystkich wyrobów jest najlepszym rozwiązaniem. W praktyce okazuje się jednak, zwłaszcza przy produkcji masowej, że nie można jej zastosować, np. z tego względu, że nie ma fizycznej możliwości, żeby sprawdzić wszystkie wyprodukowane elementy, czy też koszt ich sprawdzania przewyższy ich wartość lub produkt podczas wykonywania pomiarów ulega uszkodzeniu lub zniszczeniu. Ponadto, co wielokrotnie zostało potwierdzone w praktyce, sprawdzenie wszystkich elementów jest bardzo często niedokładne, głównie ze względu na ograniczoną percepcję osób, które dokonują sprawdzenia. Dlatego też w wielu przypadkach najlepszym rozwiązaniem dla zapewnienia odpowiedniej jakości produktu końcowego jest właśnie statystyczne sterowanie procesem. Dzięki zastosowaniu metod statystycznych jesteśmy w stanie ocenić, na podstawie tylko niewielkiego podzbioru całej populacji, czy produkty spełniają stawiane im wymagania. Stosowanie metod statystycznych daje odpowiedź na pytanie, z jakim prawdopodobieństwem dana sztuka produktu jest w stanie spełnić specyfikacje, i nawet jeżeli prawdopodobieństwo to jest duże, zawsze można spodziewać się że pewna część produkcji nie będzie spełniać narzuconych specyfikacji. Najczęściej to inżynier decyduje o tym, jakie ma być prawdopodobieństwo, że linię produkcyjną będą opuszczać wyroby dobrej jakości. W tym celu, tak jak wspomniano wyżej, posługuje się on odpowiednim doбором dwóch parametrów: wielkości próbki i częstotliwości poboru próbki. Przy czym,



im próbka będzie większa i im częściej będzie pobierana, tym większe jest prawdopodobieństwo tego, że odpowiednio wcześniej zostaną wykryte zmiany w procesie, które mogą spowodować obniżenie jakości.

Jeżeli system SPC ma działać w czasie rzeczywistym i jednocześnie zapewnić przepływ danych na poziomie całego przedsiębiorstwa, wtedy dane, które zostały wprowadzone do programu przez operatora, powinny w pierwszej kolejności zostać zapisane do centralnej bazy danych, gdzie mogą być wykorzystywane przez innych użytkowników, a następnie przetworzona informacja o stabilności procesu wraca do operatora. Zamieszczony na rys. 4 schemat przepływu danych został uszczegółowiony o opisaną funkcjonalność i jest przedstawiony na rys. 5.



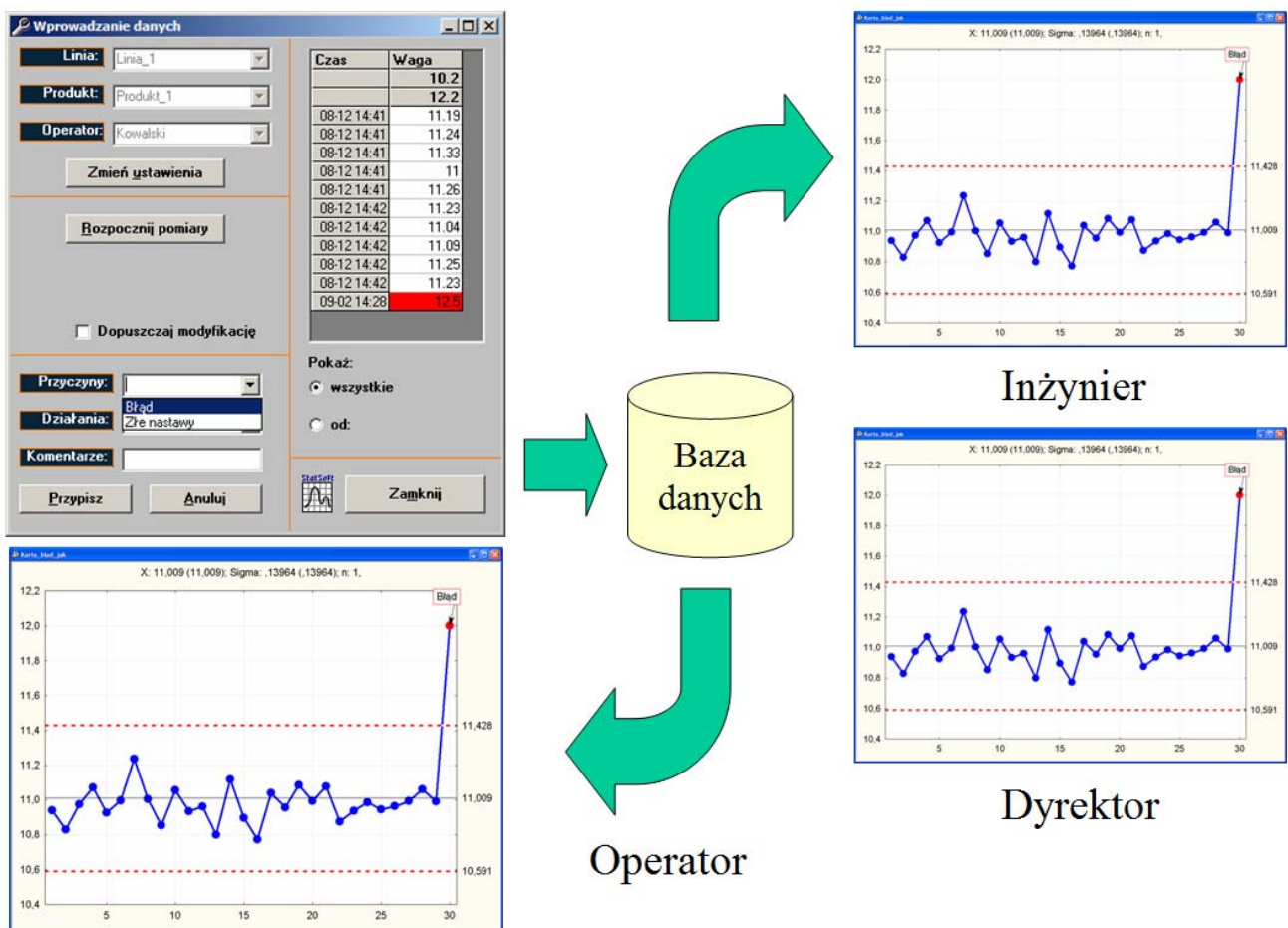
Rys. 5. Wprowadzanie danych i monitorowanie z poziomu operatora.

Kolejnym ważnym elementem dla efektywnego monitorowania procesu jest stworzenie pewnego schematu działań, który umożliwi automatyczne radzenie sobie z problemami produkcyjnymi. Ogólnie przyjętą oraz wydajną metodą jest stosowanie etykiet dla pomiarów. Etykiety można podzielić na kilka funkcjonalnych grup: przyczyny, działania, komentarze, uwzględnienia. W przypadku kiedy na karcie kontrolnej wystąpi sygnał o rozregulowaniu, operator powinien zostać o tym fakcie powiadomiony lub, mówiąc dokładniej, powinny zostać na nim wymuszone pewne działania. Standardowo po wystąpieniu sygnału o rozregulowaniu operator może zostać automatycznie poproszony o podanie przyczyny takiego stanu rzeczy. Preferowanym przez inżynierów sposobem jest stworzenie szablonu gotowych odpowiedzi, z których operator musi wybrać jedną odpowiadającą zaistniałej sytuacji. Ponadto rozwiązanie takie zapewnia spójność danych związanych z pomiarami i przyspiesza pracę operatora. Po podaniu przyczyny operator zostaje poproszony o podanie działania, jakie zostało podjęte, aby wyeliminować zagrożenie. Również w tym przypadku można stworzyć listę standardowych działań dla danej linii produkcyjnej. Po wystąpieniu sygnału o rozregulowaniu, dana próbka zostaje opatrzona przez operatora odpowiednimi etykietami, które zostaną zapisane w bazie danych. Sygnały o rozregulowaniu



pozostają na karcie kontrolnej. Po opanowaniu sytuacji, kiedy jej przyczyna była znana, taka próbka lub próbki mogą zostać usunięte z karty kontrolnej przez uprawnioną do tego osobę, np. inżyniera jakości. Próbka taka może być tylko wyświetlana na karcie kontrolnej, ale nie brana do obliczeń, np. do wyliczania parametrów karty kontrolnej. Może zostać również całkowicie usunięta z karty. Nie zostaje jednak usunięta z bazy danych, gdzie pozostaje z odpowiednią etykietą uwzględnienia, która może zostać wykorzystana na karcie kontrolnej. Dla każdej próbki powinna istnieć również możliwość dodania komentarza. Przykładowo komentarzem można oznaczać próbki, które zostały pobrane po standardowej wymianie elementu w maszynie produkcyjnej. Spowoduje to, że karta kontrolna będzie stanowić pełny obraz procesu produkcyjnego, co ułatwi operatorom sterowanie.

Informacje, które zostały wprowadzone przez jednego z użytkowników do bazy danych, mogą być natychmiast udostępnione innym, uprawnionym do tego użytkownikom. Na rys. 6 przedstawiony jest przykład propagacji informacji na poziomie przedsiębiorstwa.



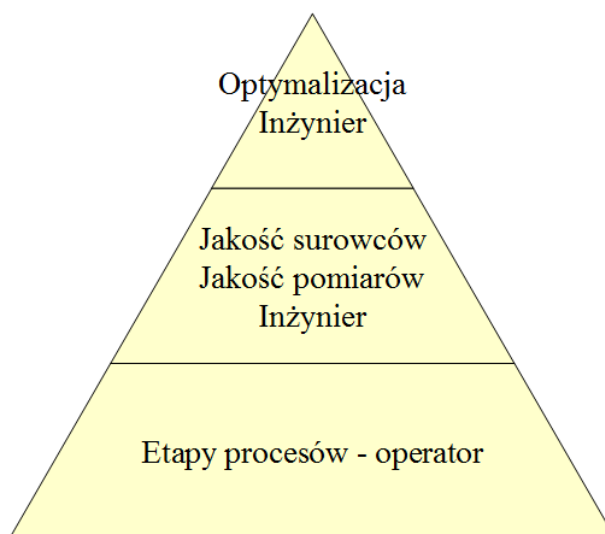
Rys. 6. Przykład rozpowszechniania informacji w przedsiębiorstwie wprowadzonej w interfejsie dla operatora.



## Dane, wiedza, poprawa jakości

Oprócz monitorowania procesów na bieżąco, można również wyróżnić monitorowanie lub pogłębioną analizę procesu na poziomie inżynierskim. Dane zebrane w bazie służą przede wszystkim do rutynowego sterowania procesem (sterowanie na najniższym poziomie), niemniej jednak nic nie stoi na przeszkodzie, aby dane te zostały wykorzystane do sterowania w sensie bardziej ogólnym. Podczas standardowego sterowania procesem na karcie kontrolnej znajduje się zazwyczaj tylko kilkadziesiąt pomiarów. Karta kontrolna jest zatem pewną „migawką” aktualnej sytuacji procesu. Inżynier jakości poza linią produkcyjną ma możliwość przyglądnięcia się procesowi w dłuższej perspektywie, jest w stanie ocenić długoterminową jakość procesu. Sterowanie procesem nie polega jedynie na kontroli, ale również na poszukiwaniu innowacji, bodźców, które pozwolą usprawnić go niejako od podstaw. Takie działania nazywamy sterowaniem długookresowym.

Przykładowo: produkcja elementu zależy od odpowiedniego ustawienia maszyny. W dłuższym okresie czasu inżynier, analizując wartości pomiarów zebrane przez różnych operatorów, stwierdził, że wyniki operatora C różnią się w sensie statystycznym od wyników operatorów A i B. Jeżeli operator C uzyskuje lepsze wyniki, to być może jego sposób ustawiania maszyny jest lepszy i być może warto tę wiedzę przekazać pozostałym.



Rys. 7. Hierarchia sterowania jakością przy użyciu *STATISTICA Enterprise*.

Wyjście poza najniższy „shewhartowski” poziom sterowania jakością procesu może się okazać trudne, o ile w ogóle możliwe, bez integracji danych i użycia odpowiedniego narzędzia analitycznego, jakim jest *STATISTICA Enterprise*. System ten dostarcza elementy systemu SPC związane z monitorowaniem i analizą danych w oparciu o zebrane w bazie pomiary i inne informacje. Z jednej strony pozwala na tworzenie kart kontrolnych, które będą działać „na bieżąco”, a z drugiej na tworzenie szablonów często bardzo zaawansowanych analiz, które pomogą odkryć np. zależność pomiędzy parametrami surowca a parametrami produktu.



Można powiedzieć, że taki sposób sterowania, oparty na wiedzy dostarczonej przez system SPC, stanowi zewnętrzną pętlę sterowania, bez której ciągła poprawa konkurencyjności przedsiębiorstwa nie jest możliwa

## Raportowanie

Osoby, które pełnią rolę inżynierów jakości w systemie SPC, stanowią grupę łączącą hale produkcyjną z zarządem firmy w sprawach jakościowych. O ile operatorzy zajmują się monitorowaniem procesu na bieżąco, a inżynierowie zajmują się analizowaniem danych procesowych w dłuższej perspektywie, to zarząd zainteresowany jest uzyskaniem prostych i zwięzłych podsumowań jakościowych. Naturalne jest, że ludzie ze szczebla zarządu przedsiębiorstwa nie są w stanie wniknąć głęboko w SPC, choćby ze względu na ograniczenia czasowe. Zintegrowany system do sterowania jakością powinien zawierać również zautomatyzowane elementy, które umożliwią globalne monitorowanie procesu przez osoby z wyższego szczebla zarządzania.

Podobnie jak to jest w przypadku inżynierów, narzędziem takim w systemie SPC jest *STATISTICA Enterprise*. Z punktu widzenia użytkownika, który jest pracownikiem wyższego szczebla, korzystanie z analiz i zestawień opartych na bieżących danych odbywa się za pomocą tego samego interfejsu systemu *SE*, z tym że użytkownik ma dostęp do innych szablonów raportów zdefiniowanych wcześniej przez inżyniera. Pozwala to na szybki i bezpośredni wgląd w bieżącą jakość procesu w oparciu o aktualne dane, czy też np. szybkie porównanie jakości z bieżącego miesiąca z danymi z poprzednich miesięcy. Co prawda szablony analiz i podsumowań muszą zostać stworzone przez inżynierów tak, aby spełniały oczekiwania osób, które będą z nich korzystać. Jednak po stworzeniu początkowego zestawu takich szablonów, są one używane wielokrotnie i wymagają zazwyczaj niewielkich zmian w celu dostosowania do zmieniających się warunków.

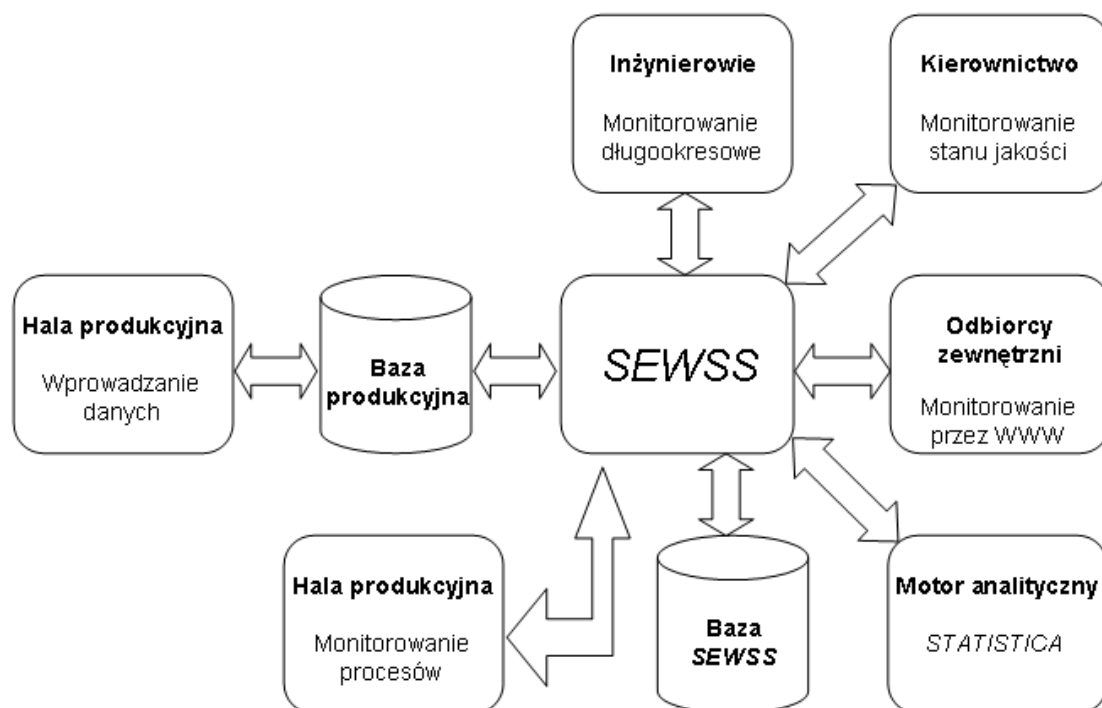
Oprócz pracowników wyższego szczebla można wyróżnić jeszcze jeden poziom. Prawdopodobnie najbardziej ogólny sposób monitorowania jakości procesów może być przeznaczony dla klientów danej firmy. Można to uzyskać poprzez zastosowanie interfejsu opartego na technologii stron internetowych. Podobnie jak w przypadku pracowników wyższego szczebla istnieje możliwość stworzenia szablonów analiz, które będą dostępne przez sieć Internet dla uprawnionych użytkowników. Analizy mogą być automatycznie aktualizowane co pewien okres czasu, w oparciu o świeżo zebrane dane. Rozwiązanie takie można nazwać „audytem on-line”, gdyż klient może mieć cały czas wgląd w stan jakości interesujących go procesów produkcyjnych dostawcy.

Tak więc monitorowanie procesu nie powinno sprowadzać się tylko do najniższego poziomu, poziomu linii produkcyjnej, dużo bardziej wydajne jest rozpowszechnienie tej metody na wszystkich szczeblach przedsiębiorstwa. Takie podejście zaleca między innymi strategia Six Sigma.



## Przepływ informacji w systemie

Temat ten był już częściowo poruszany wcześniej, podczas opisu różnych elementów systemu. Niemniej jednak poświęcimy mu jeszcze uwagę, bo to jedno z najważniejszych zagadnień ze względu na fakt, że w przypadku braku integracji, nawet jeżeli system zawiera wszystkie elementy, będzie działał nieefektywnie. Poniżej znajduje się rysunek, który przedstawia standardowe elementy takiego systemu oraz drogi przepływu informacji.



Rys. 8. Schemat przepływu informacji w zintegrowanym systemie SPC.

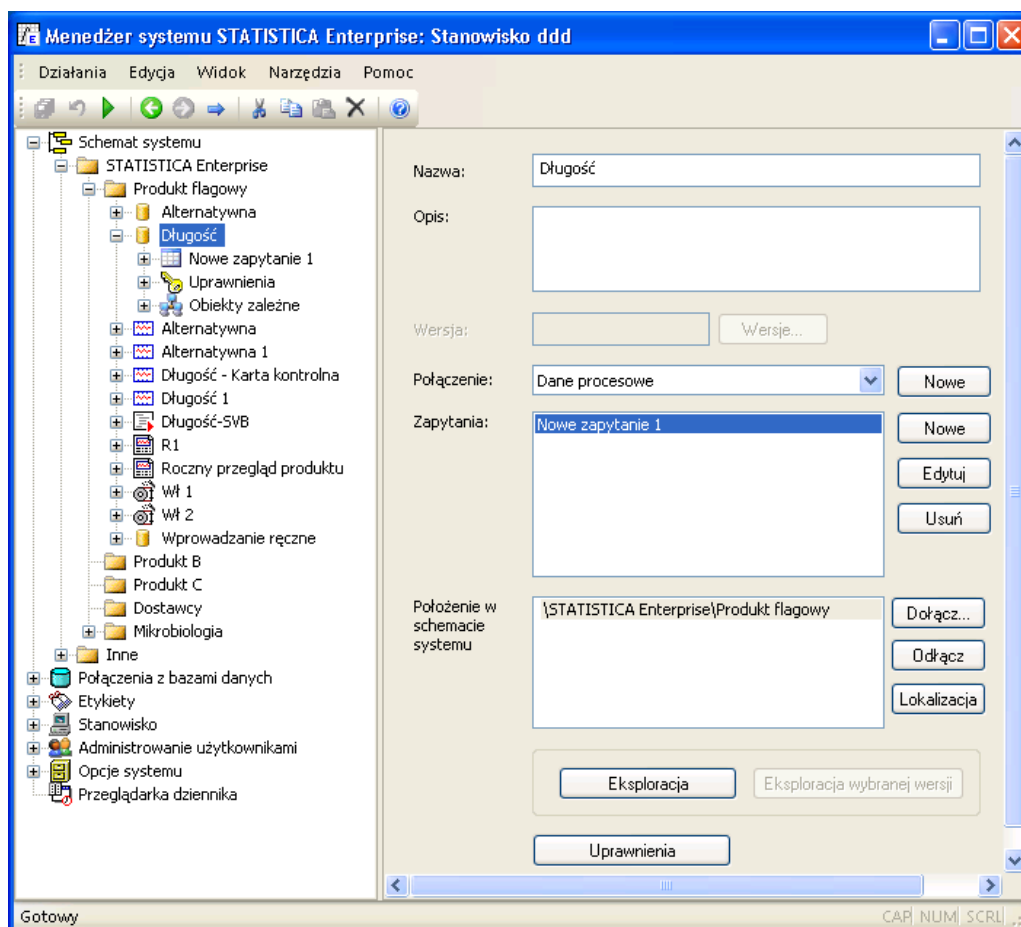
Centralnym punktem każdego systemu jest baza lub bazy danych. W przypadku zastosowania w systemie SPC systemu *STATISTICA Enterprise* będziemy mieć do czynienia zazwyczaj z dwoma bazami danych. Pierwszą z nich będzie baza *SE*, zawierająca metadane dotyczące struktury systemu, użytkowników czy też definicje szablonów raportów (zawiera pewne standardowe informacje, które nie zależą od specyfiki produkcji). Druga baza danych jest stworzona na potrzeby konkretnego zakładu produkcyjnego i sposób jej tworzenia został opisany we wcześniejszym rozdziale (będzie ona nazywana bazą produkcyjną). Baza produkcyjna zawiera surowe informacje o procesie (pomiary, specyfikacje), natomiast baza *SE* stoi wyżej w sensie logicznym i może zawierać między innymi definicje zapytań do bazy produkcyjnej. Dzięki temu, że wszystkie informacje przechowywane są w bazach danych, łatwo jest nimi zarządzać i zapewnia to duże bezpieczeństwo danych. Ponadto system *SE* zapewnia narzędzia do zarządzania użytkownikami, przez co łatwo można ustalić role każdego z nich w systemie. System *SE* jest elementem, który scala pracę szeroko rozumianego systemu SPC. Wykorzystując informacje zawarte w bazie, *SE* wykonuje zapytania do bazy produkcyjnej i poprzez użycie *STATISTICA* jako motoru analitycznego umożliwia monitorowanie procesu na bieżąco przy użyciu kart kontrolnych lub



uruchomienie innych analiz, które używane są przez pracowników wyższego szczebla. Pomijając kwestię wprowadzania danych, *SE* organizuje pracę całego systemu. Samo wprowadzanie danych jest realizowane za pomocą interfejsu dostosowanego do indywidualnych potrzeb. Można powiedzieć, że częścią wspólną *SE* oraz interfejsu do wprowadzania danych jest baza produkcyjna, z tym że interfejs do wprowadzania danych głównie zapisuje dane, natomiast *SE* głównie je czyta w celu późniejszego przetworzenia. Ważną cechą systemu *SE* jest możliwość zapewnienia sprawnego monitorowania przeznaczonego dla operatorów. Oferuje on łatwe do zdefiniowania szablony kart kontrolnych, dzięki którym inżynier może szybko stworzyć monitory dla operatorów, które będą automatycznie reagować zarówno na pojawienie się nowych danych w bazie, jak i na sygnały o rozregulowaniu.

## Przykład wykorzystania *STATISTICA Enterprise*

W oparciu o krótki przykład zostanie pokazane, jak zastosowanie *SE* zwiększa możliwości analizowania danych przy jednoczesnym ograniczeniu czasu potrzebnego na poszukiwanie i przetwarzanie danych.

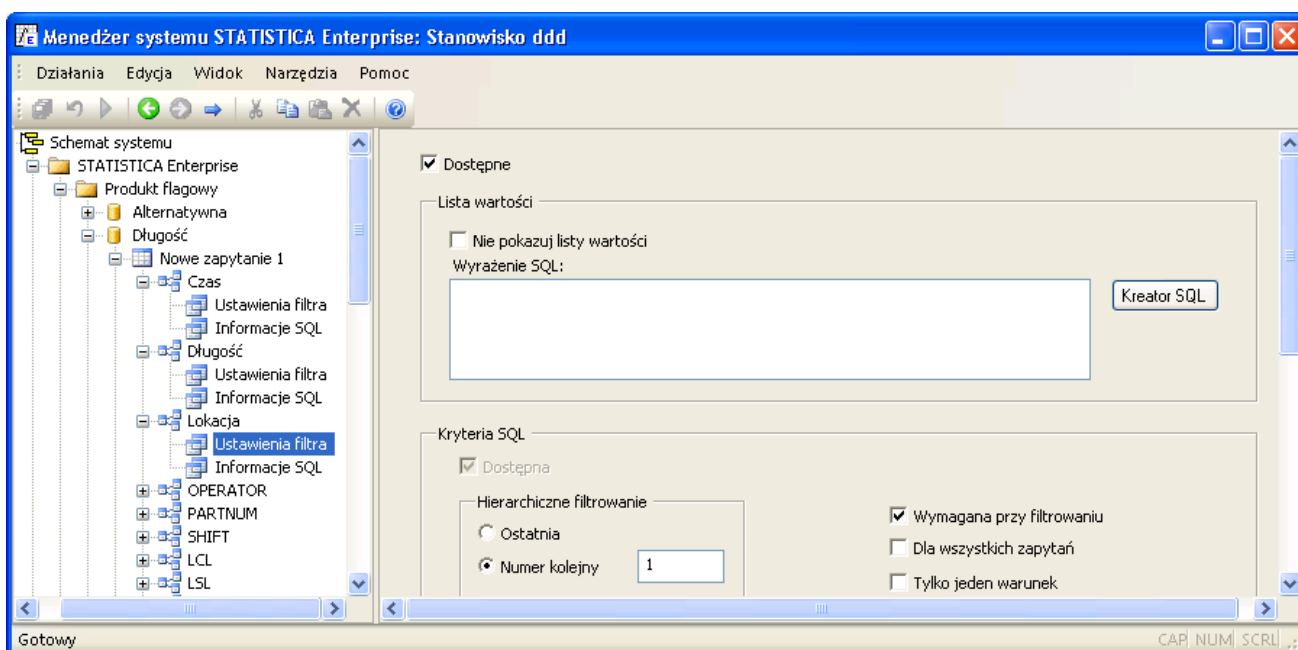


Rys. 9. Szablon pobierania danych *STATISTICA Enterprise*.



Założmy, że członek zarządu odpowiedzialny za jakość chce mieć możliwość porównywania danych dotyczących krytycznego parametru flagowego produktu firmy w obrębie 2 zakładów, w których jest on produkowany. Najpierw inżynier musi stworzyć szablon analizy, który następnie będzie wielokrotnie wykorzystywany przez członka zarządu. Inżynier skorzysta z już istniejącej w systemie definicji profilu pobierania danych, która zwraca dane z odpowiedniego zakresu czasu, np. ostatniego tygodnia.

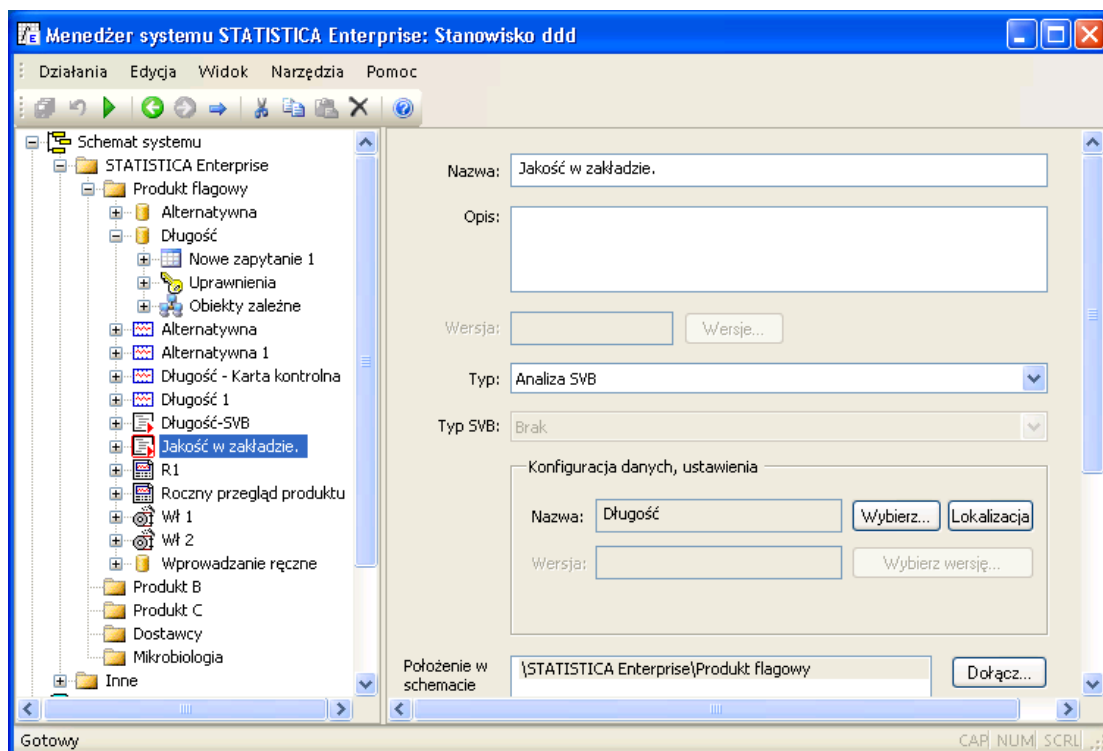
Z punktu widzenia tej konkretnej analizy musimy zapewnić konsystencję danych, które znajdują się w arkuszu po uruchomieniu szablonu. Oznacza to, że użytkownik podczas definiowania danych będzie musiał określić, dla jakiego zakładu analiza ma zostać wykonana. Dlatego określamy, że pole *Lokacja*, które zawiera nazwę zakładu, będzie wymagane przy filtrowaniu.



Rys. 10. Definiowanie filtrowania w *STATISTICA Enterprise*.

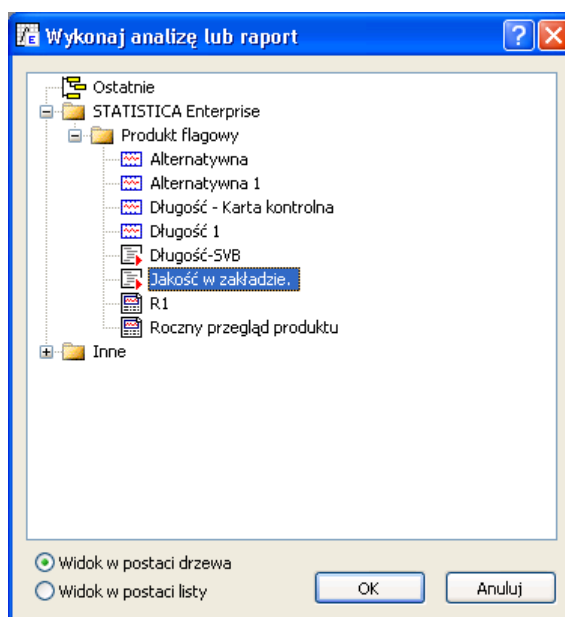
Teraz inżynier zdefiniuje szablon analizy, który będzie oparty na profilu danych *Długość* w katalogu *Produkt flagowy*. Zwróćmy uwagę, że obiekty SE są zgrupowane w strukturze drzewiastej, która odpowiada dokładnie strukturze logicznej produktów i innych obiektów w danym przedsiębiorstwie. Inżynier tworzy następnie nowy szablon analizy typu SVB i określa, na jakim profilu pobierania danych będzie on działał. Nazwa szablonu to *Jakość w zakładzie* (rys. 11).

Nowo tworzony szablon analizy będzie szablonem typu SVB, czyli będzie mógł być dowolną analizą, którą można przeprowadzić w *STATISTICA*. Ponadto zastosowanie otwartego kodu SVB pozwala na wdrożenie praktycznie każdej analizy we własnym zakresie.



Rys. 11. Szablon analizy danych *STATISTICA Enterprise*.

W kolejnych krokach definiowania szablonu analizy określamy różne opcje, takie jak częstotliwość wyświetlania danych, aż wreszcie pojawia się krok, w którym należy zdefiniować kod wykonujący analizę. Krok ten wbrew pozorom nie jest trudny i polega na wydobyciu danych do arkusza *STATISTICA* za pomocą profilu pobierania danych, z którego korzysta szablon analizy, przeprowadzeniu odpowiedniej analizy i następnie zarejestrowaniu kodu, który wklejany jest bezpośrednio do tworzonego szablonu analizy. Ostatnim krokiem jest nadanie uprawnień użytkownikom do utworzonej analizy i zapisanie jej w systemie.

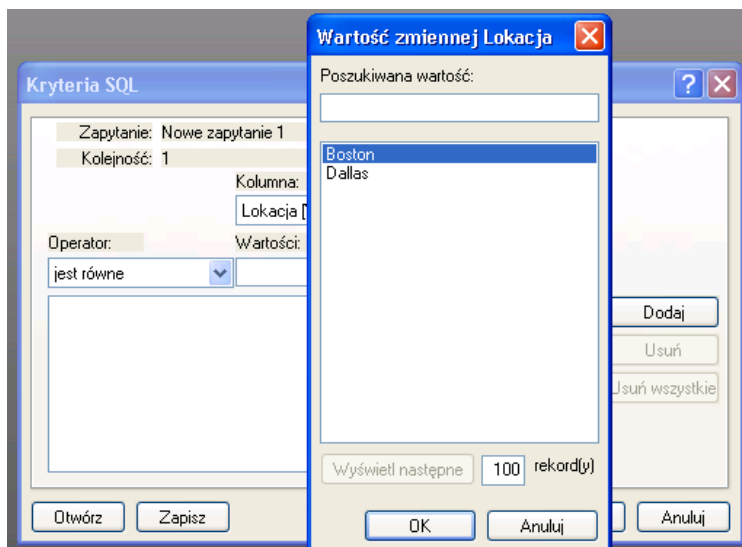


Rys. 12. Okno uruchamiania analiz i raportów w danych *STATISTICA Enterprise*.

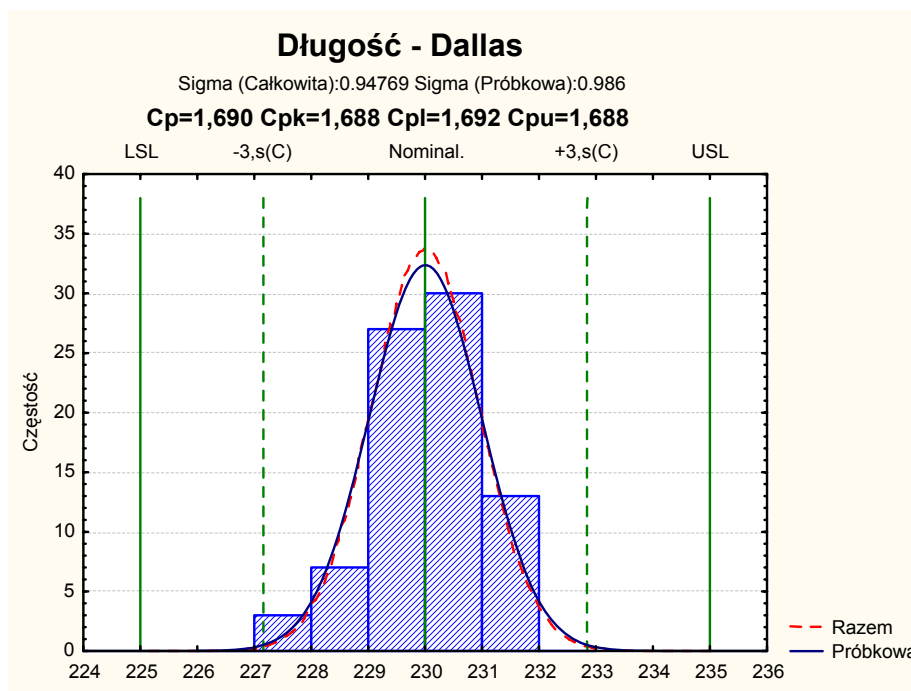


W tym momencie członek zarządu może już korzystać z nowego szablonu analizy np. wybierając w *STATISTICA* *Uruchom analizę lub raport* z menu *Korporacyjne*. Pojawi się wtedy okno przedstawione na rys. 12.

Po wybraniu z listy szablonu *Jakość w zakładzie* i naciśnięciu *OK* pojawia się okno definiowania danych. W oknie z listy wybieramy lokalację zakładu, dla którego mają zostać pobrane dane. Zauważmy, że z listy można wybrać aktualnie dostępne nazwy zakładów, i jeżeli pojawi się nowy, to wtedy będzie również dostępny na liście bez potrzeby modyfikacji tego szablonu.



Rys. 13. Interakcyjne definiowanie danych w *STATISTICA Enterprise*.



Rys. 14. Analiza zdolności utworzona w *STATISTICA Enterprise*.



Po wybraniu lokacji do arkusza *STATISTICA* pobierane są dane i tworzona jest dla nich analiza lub grupa analiz i wykresów. W tym przypadku jest to wykres zdolności, który pozwoli członkowi zarządu monitorować jakość wyrobu w obrębie zakładu (zob. rys. 14).

Ta prosta analiza może później zostać użyta jako element raportu w SE. Raport może składać się z wyników analiz pochodzących z kilku szablonów analiz i następnie może być wyświetlany na monitorze komputera lub zapisywany na dysku w jednym z wielu standardowych formatów, takich jak \*.doc, \*.pdf. Pozwala to na bardzo łatwe wykorzystanie raportów SE do publikowania aktualnych informacji na stronach WWW.

## Koszty i oszczędności

Wdrożenie każdego systemu informatycznego wiąże się z nakładami, które należy ponieść na oprogramowanie, a także z kosztami związanymi z udziałem osób zaangażowanych w jakość w projekcie. Koszty poniesione na rozwój są oczywiście względne, gdyż wdrażając system SPC spodziewamy się uzyskać oszczędności, które zrekompensują ten wydatek. Takie podejście jest stosowane od wielu dekad, chociażby w strategii SixSigma w ramach projektów, np. Black Belt. Dobłą zasadą jest, że osoba na poziomie Black Belt jest rozliczana w oparciu o oszczędności, jakie przyniosły wdrożone przez nią projekty. Wszyscy zdajemy sobie sprawę, że bez inwestycji trudno spodziewać się zwrotu ich kosztów, a następnie trwałych oszczędności. Dlatego wdrażanie strategii SixSigma powinno rozpocząć się od góry organizacji, tak aby zapewnić odpowiednie środki na rozwój. I tu być może tkwi sukces tej strategii...

Przyjrzyjmy się więc korzyściom z wdrożenia systemu SPC w zakładzie produkcyjnym:

- ◆ W trakcie wdrożenia cały istniejący dotychczas system jest rewidowany i dochodzi do ujednoczenia procedur, nieaktualne procedury są usuwane i dodawane są nowe, które uznano za istotne.
- ◆ Sterowanie na bieżąco wszystkimi etapami procesu, co pozwala zminimalizować koszty związane z wyprodukowaniem złych produktów.
- ◆ Znaczące zmniejszenie czasu związanego z wprowadzaniem danych dzięki połączeniu urządzeń pomiarowych bezpośrednio do interfejsu systemu.
- ◆ Znaczące zmniejszenie czasu związanego z prowadzeniem kart kontrolnych przez operatora na hali produkcyjnej – karta jest odświeżana natychmiast po wprowadzeniu pomiaru.
- ◆ Zmniejszenie ilości czasu potrzebnego na szkolenie nowych pracowników w zakresie wprowadzania danych i monitorowaniu systemu – system prowadzi operatora „za rękę”.
- ◆ Łatwiejsze reagowanie na rozregulowania przez operatora – w przypadku wykrycia sygnału wskazującego na rozregulowanie system może zasugerować przyczynę problemu.
- ◆ Znacznie łatwiejsza wymiana informacji pomiędzy halą produkcyjną a inżynierami jakości lub kierownictwem – analizy dostępne dla operatorów mogą być również



dostępne *on-line* dla innych użytkowników. Przykładowo po wystąpieniu sygnału wskazującego na rozregulowanie inżynier widzi na karcie jego przyczynę i działanie podjęte przez operatora w celu jego wyeliminowania.

- ◆ Zwiększenie wydajności przechowywania i integracji danych historycznych. Wszystkie dane trafiające do systemu są zbierane w jednej centralnej bazie danych, gdzie są odpowiednio uporządkowane i łatwo mogą być wykorzystane w przyszłości.
- ◆ Znaczna oszczędność czasu związanego z przeprowadzaniem analiz, które porównują np. różnice jakości na poszczególnych zmianach lub dla poszczególnych operatorów, dzięki zastosowaniu szablonów analiz w *STATISTICA Enterprise*.
- ◆ Umożliwienie analizowania danych w sposób, który bez wdrożonego systemu SPC był niemożliwy lub bardzo trudny do przeprowadzenia. Otwiera to drogę do uzyskania wiedzy, która pozwoli na dalszą poprawę jakości i wydajności procesów.
- ◆ Znaczne zmniejszenie czasu potrzebnego na przygotowywanie zestawień i raportów okresowych.
- ◆ Znaczne zwiększenie bezpieczeństwa przechowywanych danych, dzięki zastosowaniu systemu bazodanowego oraz systemu dostępu użytkowników do danych i analiz

## Literatura

1. Douglas C. Montgomery, „Introduction to statistical quality control”, Third edition, John Wiley & Sons, Inc., 1997.
2. Mikel Harry, Richard Schroeder, “Six Sigma. Wykorzystanie programu jakości do poprawy wyników finansowych”, Oficyna Ekonomiczna, Kraków 2001.
3. *Systemy korporacyjne*, <http://www.statsoft.pl/products/enterprise.htm>.
4. *Statystyka dla jakości – portal wiedzy*, <http://www.statsoft.pl/spc.html>.