James R. Thompson
Jacek Koronacki

Statystyczne sterowanie procesem

Metoda Deminga etapowej optymalizacji jakości

Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ
Warszawa 1994

Tytu/l dotowany przez
Instytut Podstaw Informatyki PAN

Recenzent
Dr Andrzej Sieroci/nski

Redaktor
Krystian Ignasiak

Komputerowy sk/lad tekstu
J.R. Thompson i J. Koronacki

Projekt graficzny serii
Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ

ISBN 83-7101-138-5

Przedmowa

Życzenie "obyś żył w ciekawych czasach" może być przekleństwem, ale może też okazać się błogosławieństwem. Bez wątpienia żyjemy w ciekawych czasach ustrojowej transformacji - porzucania spuścizny komunizmu i przechodzenia do normalności czyli, w sferze gospodarczej, do gospodarki rynkowej. Jest to wyzwanie ogromne. W sferze gospodarczej wiąże się między innymi z wypracowaniem nowego stylu zarządzania przedsiębiorstwami. Zarządzanie musi być oparte na dbałości o stałe poprawianie jakości wytwarzanych przez przedsiębiorstwo dóbr (wyrobów lub usług). Przedsiębiorstwo nie utrzyma się na rynku bez wprowadzenia do swojej codziennej i stałej praktyki metod optymalizacji jakości, czyli metod znanych pod nazwą statystycznego sterowania procesem (w skrócie, SSP).

Statystyczne sterowanie procesem ma za swój faktyczny fundament obserwację poczynioną przez Wilfryda Pareta (1848-1923) na początku tego wieku. Pareto, który był inżynierem ale sławę zyskał jako socjolog i ekonomista, zauważył, że źródłem złego funkcjonowania złożonych systemów jest zwykle stosunkowo niewiele przyczyn. Z reguły, w złożonych systemach, takich jak proces produkcji, niewiele przyczyn pociąga za sobą katastrofalnie wiele niepowodzeń. Zasada Pareta ma doniosłe konsekwencje. Po pierwsze wynika z niej, że poprawa działania systemu może i powinna polegać na wyszukiwaniu i usuwaniu konkretnych, niewielu przyczyn nieuregulowanego przebiegu procesu. Najlepiej jest przy tym postępować etapami, zaczynając od usunięcia przyczyny mającej największy wpływ na rozregulowanie procesu. I po drugie, zasada Pareta mówi, że poprawianie jakości jest działaniem metodologicznie prostym i, jeśli działa się konsekwentnie, prowadzącym do rzeczywistej i stałej poprawy jakości. Oczywiście metodologiczna prostota programu SSP oraz umiejętność wykrywania rozregulowań procesu nie oznaczają, że każdą przyczynę rozregulowania będzie łatwo znaleźć i usunąć.

Przedmiotem tej książki są proste i skuteczne metody uporządkowanego wykrywania rozregulowań procesu produkcji i, tym sposobem, etapowego optymalizowania jego jakości. Zanim jednak przedstawimy zawartość książki musimy zauważyć, że kierownictwa przedsiębiorstw, zarówno w USA jak i w Polsce, nie zawsze przywiązują dostateczną wagę do wprowadzenia metod SSP. Co ciekawe, zjawisko to wyjaśnia socjologiczna myśl Pareta.

Pareto dostrzegał nieuchronność istnienia elit faktycznie rządzących społeczeństwem. Kontynuując jego prace, amerykański badacz, Jakub Burnham, opisał na przełomie lat trzydziestych i czterdziestych obecność tego typu elit w krajach tak różnych jak faszystowkie Włochy, komunistyczna

Rosja oraz USA i kraje demokratyczne zachodniej Europy. Elity te wyróżniała umiejętność przechwytywania i utrzymywania się u władzy. Krótko mówiąc, Burnham opisał nomenklatury rządzące we wszystkich krajach, nomenklatury wszędzie funkcjonujące na podobnych zasadach. Członkowie nomenklatur przechodzili z jednych wysokich stanowisk na inne wysokie stanowiska w zupełnie z sobą nie związanych działach gospodarki. Na przykład, prezydent amerykańskiego uniwersytetu zostawał prezydentem przemysłowej korporacji, zaś rosyjski aparatczyk z ministerstwa sprawiedliwości brał się za zarządzanie dowolną gałęzią przemysłu. Nominacje na nowe stanowiska nie wynikały z osiągnięć i nie przeszkadzały im niepowodzenia na stanowiskach poprzednich.

Z czasem, analizy Burnhama nabrały jeszcze większej aktualności. Biorąc pod uwagę nasze polskie doświadczenia nie dziwiło nas, że sowiecki minister, rządzący niewyobrażalnie nieefektywnym sektorem rolniczym, Gorbaczow, mógł zostać szefem całego imperium. Zdziwilibyśmy się jednak, gdybyśmy równocześnie przyjrzeli się wędrówkom członków amerykańskiej nomenklatury przemysłowej z jednych lukratywnych posad na inne.

Dziwiąc się, gdy członek kierownictwa wielkiej firmy produkującej napoje chłodzące zostaje członkiem kierownictwa firmy komputerowej, choć nigdy nie napisał najkrótszego programu komputerowego, słyszymy, że nie powinniśmy mylić umiejętności kierowniczych z technicznymi. To prawda, że w kierownictwie zwłaszcza wielkiej firmy potrzebni są znawcy technik zarządzania, marketingu i finansowania. Ale źle się stało, że zarządzanie amerykańskimi firmami zostało zdominowane przez specjalistów od zarządzania, zwłaszcza że współcześnie własność firmy jest rozproszona i przez to trudno o skuteczną kontrolę jej kierownictwa. W rezultacie, specjaliści od zarządzania i prawnicy stworzyli w USA prawdziwą nomenklaturę. Bezkarnie doprowadzają do bankructwa jedną firmę, dokonują połączenia drugiej z trzecią, ponosząc śladową tylko odpowiedzialność za swoją działalność.

Działając w warunkach względnie wolnego rynku, przemysłowa nomenklatura amerykańska nie może nie myśleć o jakości wyrobów wytwarzanych w zarządzanych przez nią firmach. Tym niemniej, hasło "kupuj tylko towary amerykańskie", kiedyś oczywiste dla Amerykanina, dziś nazbyt często budzi jego śmiech. Specjaliści od zarządzania dobrze rozumieją, że produkcja musi toczyć się w warunkach gruntownie przemyślanej organizacji pracy, musi być we właściwy sposób uporządkowana. To specyficzne uporządkowanie produkcji musi sprzyjać utrzymaniu wysokiej jakości wytwarzanych wyrobów. Stąd pewnym zainteresowaniem cieszą się programy "zapewniania jakości" i "zarządzania przez jakość". Ale, wbrew temu co twierdzą niektórzy specjaliści propagujący te programy, nie ma od nich automatycznego i gładkiego przejścia do programu poprawiania jakości samego procesu produkcyjnego, czyli do statystycznego sterowania procesem. Ludzie wykształceni w dziedzinie marketingu i finansów z reguły zbyt słabo znają się na produkcji, ich myślenie jest zbyt odległe od myślenia inżynierskiego, technicznego. Sami nie będąc zwykle wystarczająco dobrze przygotowani do współpracy z innymi nad systematycznym optymalizowaniem jakości produkcji, nie dostrzegają potrzeby "wbudowania" programu statystycznego sterowania procesem w działalność produkcyjną firmy. W ostatecznym zaś rachunku, na wolnym rynku mogą utrzymać się tylko firmy konsekwentnie stosujące program SSP. Warto odnotować, że w USA daje się zauważyć nowy, jeszcze słaby trend zatrudniania w kierownictwach firm większej liczby pracowników od lat związanych z tymi firmami, wieloletnich członków ich pionów inżynieryjno-technicznych i produkcyjnych.

Historia początków programu statystycznego sterowania procesem warta jest w tym miejscu choć krótkiej wzmianki. Na przełomie lat dwudziestych i trzydziestych tego wieku, zasada Pareta stała się filozoficznym fundamentem, uzasadniającym wprowadzenie przez Amerykanina, Waltera Shewharta, tzw. kart kontrolnych, służących do wykrywania sygnałów rozregulowania procesu produkcji. W znacznej mierze, potrzeba stosowania takich kart była przeczuwana już przez Henryka Forda (wspomnijmy tu, że wymyślona przez Forda technika produkcji samochodów przeniesiona została do Niemiec przez Ferdynanda Porschego). Zwracamy na tę dawną historię uwagę by podkreślić, że to właśnie w Ameryce rodziła się statystyczna kontrola jakości, z której części, po stosownej reinterpretacji, inny Amerykanin, W. Edwards Deming, sformułował w latach czterdziestych program SSP. Ale, choć metody SSP powstawały w USA i w czasie drugiej wojny światowej były tam stosowane w produkcji zbrojeniowej, to równolegle rozwijał się tam zupełnie inny styl optymalizownia jakości, bardzo przypominający ... komunistyczne slogany i psychologiczne oddziaływanie na robotników. Wpływ tego drugiego nurtu nie był mały, skoro po wojnie profesor Deming zdecydował się wyjechać na jakiś czas z USA i wprowadzić program SSP na masową skalę w Japonii. Po latach profesor Deming ogłoszony został przez Japończyków ojcem jakościowej doskonałości ich wyrobów. Równolegle, jakość japońskich samochodów i sprzętu elektronicznego przewyższyła jakość analogicznych wyrobów amerykańskich. Trudno w tym kontekście nie przypomnieć poronionych programów amerykańskich mistrzów "zapewniania jakości" z lat sześćdziesiątych, którzy pisali wówczas programy do złudzenia przypominające propagandowe teksty specjalistów sowieckich.

Warto abyśmy w Polsce wyciągnęli wnioski z doświadczeń amerykańskich i japońskich. Tym bardziej, że Polska zdaje się dość bezkrytycznie powielać wzorce dominujące na Zachodzie. I tym bardziej, że części polskiej klasy polityczno-przemysłowej zdaje się szczególnie odpowiadać "model nomenklaturowy", podczas gdy inna jej część może czuć się przygnieciona wymaganiami narzucanymi przez biurokrację jednoczącej się Europy.

Wspomnieliśmy już o metodologicznej prostocie programu SSP. Walter Shewhart zrozumiał co w praktyce, i zarazem w języku matematyki, oznacza jakościowa zasada Pareta. Otóż proces produkcji, nawet gdy przebiega w sposób stabilny, uregulowany, rządzony jest przez pewien rozkład prawdopodobieństwa (produkując wałki o średnicy nominalnej 10 mm kolejne wyprodukowane egzemplarze mają średnice bliskie 10 mm, ale nigdy dokładnie równe 10 mm). W rzeczywistym świecie zdarzają się chwile, w których rozkład rządzący uregulowanym przebiegiem procesu produkcji zostaje zaburzony innym rozkładem, nietypowym dla tego procesu (przyczyną zaburzenia może być chwilowe drżenie łożyska tokarki). W chwilach wystąpienia takiego zaburzenia otrzymywany produkt też charakteryzuje się jakąś nietypowością. Może to być chwilowa zmiana wartości średniej mierzonej wielkości lub zmiana rozrzutu tej wielkości wokół średniej. Karty kontrolne Shewharta umożliwiają wykrycie chwil, w których produkcja ulega rozregulowaniu, czyli charakteryzuje się pewną nietypowością, odróżniającą ją od produkcji w czasie, gdy proces jest uregulowany. Wiedząc o rozregulowaniu procesu w jakiejś chwili, możemy postarać się wyśledzić przyczynę tego rozregulowania i ją usunąć. Usunięcie przyczyny rozregulowania na stałe poprawia jakość produkcji. Trzeba tu podkreślić właśnie wspomnianą trwałość uzyskanej poprawy jakości (już Ford zauważył, że dobrze nastawiona maszyna będzie dobrze działać aż do wystąpienia nowej, zewnętrznej przyczyny jej rozregulowania – maszyna, inaczej niż człowiek, sama z siebie nie ulega rozregulowaniu). Tak pomyślane przez Shewharta działania korekcyjne są podstawą strategii SSP i stanowią w istocie metodę etapowej optymalizacji systemu produkcji. Systematyczna, etapowa optymalizacja jakości zaczyna się od sporządzenia dokładnego diagramu procesu produkcji i w swej zasadniczej części polega na regularnej obserwacji wybranych ogniw (modułów) tego procesu. Obserwacja ogniw procesu realizowana jest właśnie z pomocą kart kontrolnych. (Czytelnik zainteresowany klasyczną teorią sterowania z ciągłym sprzężeniem zwrotnym powinien zostać ostrzeżony, że teoria ta – wbrew twierdzeniom niektórych specjalistów – nie ma nic wspólnego z podejściem Shewharta-Deminga do statystycznego sterowania procesem.)

Przedstawiony tu krótko fundament strategii SSP wygląda w gruncie rzeczy dość banalnie. To, że strategia ta jest metodologicznie prosta nie powinno zniechęcać, lecz cieszyć. W końcu łatwiej wprowadzać w życie rzeczy proste i zrozumiałe niż złożone i koncepcyjnie trudne. Byłaby to zaś strategia banalna, gdyby prowadziła do banalnych wyników. Tymczasem jest w niej banalności mniej więcej tyle samo ile w zasadzie "niewidzialnej ręki rynku", sformułowanej przez Adama Smitha. Na prawa wolnego rynku, którego potęgę zrozumiał Adam Smith, można narzekać, zasadę niewidzialnej ręki można uznać za banalną, ale trzeba się zgodzić, że wolny rynek okazał się jedynym źródłem bogactwa narodów. Podobnie Deming, pojechawszy do Japonii i wprowadziwszy do tamtejszego przemysłu strategię SSP, udowodnił skuteczność tej strategii w optymalizowaniu jakości.

W swojej zasadniczej części niniejsza książka jest tłumaczeniem naszej wcześniejszej książki, *Statistical Process Control for Quality Improvement*, wydanej przez wydawnictwo Chapman & Hall (Nowy Jork i Londyn) w roku 1993. Książka jest w głównej mierze wynikiem doświadczeń zdobytych przez pierwszego autora w ciągu jego kilkunastoletniej praktyki konsultacyjnej i edukacyjnej w zakładach amerykańskich (w Teksasie). Jej zaczątkiem był skrypt przygotowany przez pierwszego autora. Skrypt ten był podstawą krótkich kursów z metod statystycznego sterowania procesem w zakładach przemysłowych w Teksasie i w Polsce. Drugi autor rozpoczął naukę metod SSP pod kierunkiem J. R. Thompsona w roku 1989. Wspólnie zorganizowali grupę statystyków z Warszawy, Wrocławia, Poznania i Kielc, by w roku 1991 rozpocząć działalność konsultacyjną w Polsce. Przez pierwszych sześć miesięcy grupa związana była z międzynarodowym zespołem International Team for Company Assistance, którego zadaniem była pomoc polskim zakładom przemysłowym w prywatyzacji. W tamtym czasie grupę polskich statystyków wspomagali młodsi współpracownicy J. R. Thompsona z Uniwersytetu W. M. Rice'a w Houston, Marek Kimmel i Martin Lawera.

Wszystkie zebrane doświadczenia wykorzystane zostały przy pisaniu tej książki. Książka jest tak pomyślana, by jej wcześniejsze partie mogły być wykorzystane przez osoby zainteresowane wyłącznie praktycznym wprowadzeniem strategii SSP do zakładu. Partie późniejsze zawierają także materiał nie wykładany na kursach praktycznego przygotowania do stosowania metod SSP, mocniej związany ze statystycznymi fundamentami tych metod i po części mogący być przedmiotem dalszej pracy badawczej. W rezultacie, książka może też być podstawą kursów politechnicznych lub podobnych na trzecim lub czwartym roku studiów. Każdy rozdział ma podane zadania do samodzielnego rozwiązania. Zadania te stanowią integralną część książki. Uwaga ta dotyczy zwłaszcza zadań do rozdziałów 1 i 3, tam bowiem, a nie w środku rozdziałów, podane są rzeczywiste przykłady stosowania kart kontrolnych.

Rozdział 1 zawiera praktyczne wprowadzenie do strategii statystycznego sterowania procesem. Sposób przedstawienia materiału odpowiada potrzebom krótkiego kursu SSP w zakładzie pracy. Kursy, które prowadziliśmy w Teksasie i w Polsce w dużej mierze opierały się na tym rozdziale.

Rozdział 2 poświęcony jest metodom SSP opartym na ocenach alternatywnych. Oceny alternatywne są nieporównanie gorszą podstawą prowadzenia statystycznego sterowania procesem niż dane liczbowe zbierane na wyjściach wielu ogniw procesu, ale często tylko takimi ocenami dysponują zakłady w chwili rozpoczynania programu SSP. Często więc od wykorzystania takich ocen wypada rozpocząć w zakładzie statystyczne sterowanie procesem.

W rozdziale 3 przedstawiamy model statystycznego sterowania procesem oparty na koncepcji wykrywania zaburzeń typowego rozkładu przebiegu tego procesu. Omawiamy zachowanie się kart kontrolnych w różnych praktycznych sytuacjach oraz proponujemy procedury szacowania parametrów procesu niezaburzonego odporne na występujące zaburzenia tego procesu.

Rozdział 4 poświęcony jest procedurom sekwencyjnym. Omawiamy klasyczne karty sum skumulowanych oparte na ilorazie wiarogodności, klasyczne karty sum skumulowanych Shewharta, karty sum skumulowanych Page'a, karty sum skumulowanych dla ocen altrnatywnych oraz karty wykładniczo ważonej średniej ruchomej.

W rozdziale 5 przedstawiamy pewną liczbę technik wstępnej analizy danych. Ich użycie jest pożądane w sytuacjach mniej typowych, gdy natychmiastowe wprowadzenie typowego programu SSP jest przedwczesne.

W rozdziale 6 przedstawiamy pewną liczbę technik optymalizacyjnych użytecznych przy planowaniu doświadczeń i modyfikowaniu procesu produkcji w celu podniesienia jego – tak czy inaczej rozumianej – wydajności. W przeciwieństwie do innych rozdziałów książki, techniki omówione w tym rozdziale stosuje się poza normalnym tokiem produkcji, z góry narzucając zmiany w normalnym przebiegu procesu produkcyjnego. Przykładowo, omawiamy algorytm sympleks Neldera-Meada oraz plan rotatabilny Boxa, Huntera i Drapera.

Rozdział 7 poświęcony jest wykrywaniu rozregulowań procesu w przypadku dysponowania rejestrowanymi w czasie danymi wielowymiarowymi. Proponujemy test wielokrotny jako alternatywę dla serii testów jednowymiarowych. Proponujemy też procedurę szacowania parametru położenia rozkładu niezaburzonego, odporną na występujące zaburzenie tego rozkładu. Ponadto, zaproponowany jest nieparametryczny test przesunięcia parametru położenia.

Książka napisana jest tak, by każdy czytelnik znający rachunek prawdopodobieństwa i statystykę na poziomie elementarnym mógł ją czytać nie zaglądając do żadnych innych źródeł (wyjątek od tej reguły stanowią pewne zagadnienia poruszone w rozdziale 7). Czytelnik nie znający podstaw wymienionych dziedzin może bez potrzeby korzystania z innych podręczników zapoznać się z rozdziałem 1. Do lektury pozostałych rozdziałów wystarczą mu informacje, jakie znajdzie w dowolnym podręczniku rachunku prawdopodobieństwa i statystyki. Czytelnika znającego statystyczną kontrolę jakości może zdziwić brak odwołań do literatury tego przedmiotu, mimo że karty kontrolne zajmują przecież w tamtej literaturze bardzo wiele miejsca. Przykładowo, nie ma odwołań do takich bardzo dobrych pozycji polskich jak *Statystyczna kontrola jakości w toku produkcji* Andrzeja Iwasiewicza, wydana w roku 1985, i starszy, wydany w roku 1973 podręcznik J. Cyrana, J. Steczkowskiego i K. Zająca *Statystyczne metody kontroli jakości produktów*. Uczyniliśmy tak świadomie. Sposób przedstawienia kart kontrolnych przyjęty w tej książce odpowiada ściśle potrzebom strategii SSP, a te istotnie różnią się od potrzeb rządzących statystyczną kontrolą jakości.

Wypada jeszcze wspomnieć, że – ze względu na powszechne posługiwanie się "anglojęzycznymi" komputerowymi pakietami statystycznymi – w ułamkach dziesiętnych stosujemy kropkę zamiast przecinka. Książka nie została zaopatrzona w towarzyszącą dyskietkę z oprogramowaniem, ponieważ standardowe procedury SSP są proste i dość powszechnie dostępne w gotowej lub prawie gotowej postaci. Możemy je albo bezpośrednio znaleźć w pakietach statystycznych, albo z łatwością zaprogramować korzystając z pakietów statystycznych lub arkuszy kalkulacyjnych. (W książce wykorzystaliśmy grafikę oferowaną przez pakiet SYSTAT 5.2 oraz edytory graficzne MacDraw Professional i MacPaint II.) Co więcej, warto podkreślić, że standardowe karty kontrolne można z łatwością sporządzić korzystając wyłącznie z ręcznego kalkulatora z funkcjami statystycznymi, na przykład kalkulatora Texas Instruments TI-36 Solar.

Do powstania anglojęzycznej wersji tej książki, a zatem do powstania również tej książki, w różny sposób, przyczyniło się wiele osób. Wszystkie symulacje zawarte w rozdziale 7 oraz podany tamże algorytm obliczania średniej uciętej są dziełem Martina Lawery. Oto lista osób, którym chcemy specjalnie podziękować: Gerald Andersen, Wojciech Bijak, Leonard Bolc, Barbara Burgower, Jagdish Chandra, Gabrielle Cosgriff, Dennis Cox, Andrzej Dąbrowski, Mirosław Dąbrowski, Piotr Dembiński, Katherine Ensor, James Gentle, Stanisław Gnot, Stuart Hunter, Radosław Kala, Robert Launer, Kevin McDonald, Jan Mielniczuk, Michael Pearlman, Joseph Petrosky, Paul Pfeiffer, Zdzisław Piasta, Michael Sawyers, David Scott, Beatrice Shube, Idzi Siatkowski, Andrzej Sierociński, Malcolm Taylor, John

Tukey, Matt Wand, Geoffrey Watson, Jacek Wesołowski, Edward Williams oraz Waldemar Wizner.

James R. Thompson i Jacek Koronacki
Houston i Warszawa, marzec 1994