

Piotr Grudowski

Koncepcja strat jakościowych Taguchiego

J. Juran stwierdził w jednej ze swoich prac, że w każdym przedsiębiorstwie istnieją dwa różne sposoby porozumiewania się – „język pieniądza”, którym posługuje się kierownictwo wyższego szczebla oraz „język techniczny” używany przez kadrę inżynierską, średni szczebel techniczny i szeregowych pracowników produkcji. Juran wyraził ubolewanie, że brak jest skutecznych metod pozwalających te dwa języki do siebie zbliżyć.

Obecnie wydaje się, że tę lukę wypełnia koncepcja strat jakościowych, zaproponowana przez G. Taguchiego, znanego międzynarodowego konsultanta w dziedzinie zapewnienia jakości. Przejrzystość, kompleksowość oraz sprawdzona w różnych warunkach skuteczność rozwiązań, jakie ta metodyka niesie, sprawiają, że znajduje ona coraz szersze zastosowanie.

Wydaje się, że zaproponowana idea straty jakościowej może mieć szerokie zastosowanie w różnych rodzajach działalności gospodarczej jako nowa filozofia realizacji wszelkich zadań, odpowiadająca strategii ciągłej poprawy – naczelnemu hasłu kompleksowego zarządzania jakością (TQM).

Definicja i miara jakości wyrobu

Taguchi w kontrowersyjny sposób definiuje jakość (wyznaczając jednocześnie jej miarę) jako „wymierną stratę społeczną spowodowaną przez wyrób po przekazaniu go odbiorcy”. Konieczne jest więc obliczanie, a raczej szacowanie tej straty nazywanej dalej stratą jakościową.

Jeśli, przykładowo, agregat chłodniczy w lodówce ulegnie uszkodzeniu z powodu wadliwego wykonania lub zaprojektowania, to powstaje w wyniku tego wiele strat (kosztów) ponoszonych przez różne strony. Zepsuciu może ulec przechowywana

żywność, konieczne może się okazać odwiezienie lodówki do punktu naprawczego lub oczekiwanie na serwis, wystąpić może konieczność zjedzenia posiłków poza domem itp. Dla producenta mogą to być koszty wynikające nie tylko z umowy gwarancyjnej, ale również wiele takich niejawnych kosztów, jak chociażby utrata reputacji, a w efekcie potencjalnych zamówień. Istotnymi są również straty ekologiczne.

Operowanie popularną miarą jakości, jaką jest procent wyrobów wadliwych w procesie produkcyjnym, jest w świetle japońskiej filozofii jakości niewłaściwe, gdyż wyroby wadliwe nie są wysyłane, a tylko takie powodują straty odbiorcy (współczesna definicja jakości jest zorientowana na klienta).

Taguchi uważa, że celem inżynierii jakości powinno być doprowadzenie do takiej sytuacji, w której poszczególne charakterystyki jakościowe wyrobu (cechy użytkowe istotne dla odbiorcy), byłyby możliwie jak najmniej czułe na zakłócenia (szumy) związane ze środowiskiem, w jakim wyrób jest używany, bez konieczności eliminacji tych zakłóceń. Udało się wykazać, że można tego dokonać bez specjalnych nakładów.

Metodyka *Robust Design* (projektowanie wyrobów lub procesów pewnych, „sztywnych”, niepodatnych na zakłócenia), zaproponowana przez Taguchiego, umożliwia obniżenie zarówno jednostkowego kosztu własnego wyrobu, jak i związanych z jego użytkowaniem strat jakościowych.

W trakcie najistotniejszej, z punktu widzenia efektywnego zapewnienia jakości wyrobu, fazy planowania i przygotowania produkcji, Taguchi wyróżnia trzy etapy:

● **Projektowanie systemu**, obejmujące określenie wymaganych materiałów i komponentów, wybór technologii, opracowanie prototypowe-

go rozwiązania spełniającego wymagane funkcje (wykorzystuje się m.in. metodę rozwinięcia funkcji jakości – QFD), wybór metod montażu itp.

● **Projektowanie parametrów** (najistotniejsza faza w metodyce Taguchiego), w której określone są optymalne wartości (minimalizujące stratę jakościową bez podnoszenia kosztu jednostkowego) parametrów wyrobu lub procesu wpływających na wybraną cechę użytkową; celem jest doprowadzenie do sytuacji, w której wybrana charakterystyka jakościowa wyrobu jest możliwie jak najmniej wrażliwa na zakłócenia.

W projektowaniu parametrów wykorzystuje się:

▲ **wskaźniki sygnał-szum** (*signal-to-noise ratio* – $\frac{S}{N}$), stanowiące mierz-

nik jakości dla danego układu wartości parametrów i czynników zakłócających,

▲ **tablice (macierze) ortogonalne** (*orthogonal arrays*), służące do efektywnego badania wpływu wielu analizowanych parametrów na daną charakterystykę wyrobu (tzw. planowanie eksperymentów).

Należy podkreślić, że zarówno wskaźniki sygnał-szum, jak również planowanie doświadczeń przy zastosowaniu macierzy ortogonalnych, nie są dziełem Taguchiego. Nikt jednak nie potrafił równie skutecznie i na tak szeroką skalę wykorzystać tych narzędzi w praktyce przemysłowej.

● **Projektowanie tolerancji** powinno mieć miejsce wówczas, gdy nie uzyskana się wymaganej jakości w rezultacie projektowania parametrów. Bilansowana jest alternatywa – redukcja straty jakościowej a wzrost kosztów produkcji.

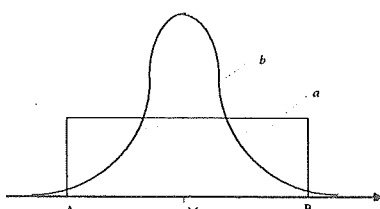
Podejmuje się tu decyzje o zakupie lepszych urządzeń technologicznych, materiałów, narzędzi, przyrządów pomiarowych itd.

Taguchi proponuje, przy wykozystaniu idei strat jakościowych,

wiele ciekawych rozwiązań metodycznych mogących znaleźć zastosowanie również w czasie procesu produkcyjnego (*on-line quality control*).

Funkcja strat jakościowych

To, co różni zasadniczo filozofię Taguchiego od tradycyjnego taylorowskiego podejścia do zagadnienia spełnienia wymagań, jest pogląd na rolę tolerancji. Bardzo dobrym przykładem ilustrującym tę różnicę jest przeprowadzona pod koniec lat 70. analiza preferencji użytkowników telewizorów firmy SONY. Porównywano odbiorniki produkowane przez SONY-USA oraz SONY-Japonia. Z ankiet wynikało, że testy oceny odbiorników wypadły zdecydowanie na korzyść wyrobów japońskich, pomimo że w obu zakładach stosowano identyczne technologie i dokumentację produkcyjną. Badania jednego z istotnych parametrów użytkowych – nasycenia kolorów – w populacji telewizorów produkowanych przez oba przedsiębiorstwa, wykazały, że wartość tej cechy dla odbiorników wytwarzanych w USA podlega, w przybliżeniu, rozkładowi równomiernemu (rys. 1-a), japońskich zaś rozkładowi normalnemu (rys. 1-b), o wartości średniej zbliżonej do wartości pożądanej M.



Rys. 1. Przybliżone rozkłady prawdopodobieństwa wartości nasycenia kolorów w odbiornikach telewizyjnych produkowanych przez SONY-USA i SONY-Japonia

Widać więc, że wśród telewizorów wyprodukowanych w Japonii, znacznie więcej było egzemplarzy, w których wartość nasycenia kolorów była bliska wartości pożądanej tego parametru. Użytkownik odbiornika z nasyceniem kolorów bliskim jednej z granic tolerancji tej cechy, dostrzegał różnicę w jakości obrazu przy porównaniu z odbior-

nikiem o nasyceniu kolorów bliskim wartości pożądanej. W ten właśnie sposób ujawniły się ogólne preferencje użytkowników telewizorów SONY, na rzecz produktów japońskich, mimo że w obu przypadkach wadliwość była bliska zeru (A, B są granicami tolerancji).

Nowoczesne podejście do zapewnienia jakości wyrobu polega na zwracaniu uwagi nie tylko na osiągnięcie zakresu przewidywanej tolerancji parametru, ale ciągłym dążeniu do osiągnięcia jego wartości pożądanej. Wyroby, których cechy przyjmują wartości znajdujące się w obrębie swoich tolerancji, powodują również straty u odbiorców, mogą niekorzystnie wpływać na poziom sprzedaży wyrobów i reputację producenta.

G. Taguchi opracował proste formuły, za pomocą których można określić poziom strat jakościowych (poziom jakości) wyrobu.

Funkcja strat jakościowych przedstawiana w tradycyjnym taylorowskim modelu spełnienia wymagań, ma postać funkcji skokowej (rys. 2):

$$S(y) = \begin{cases} 0 & A \leq y \leq B \\ S_0 & y > B \text{ lub } y < A \end{cases} \quad (1)$$

gdzie: A, B – odpowiednio dolna i górna granica tolerancji parametru,
S₀ – koszt wymiany lub naprawy wyrobu.

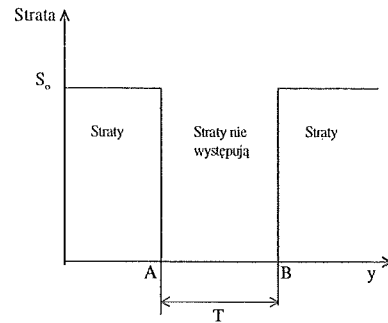
W modelu takim każda wartość cechy mierzalnej, znajdująca się w polu tolerancji, jest traktowana jednakowo.

Funkcja strat jakościowych wg koncepcji Taguchiego przyjmuje, w zależności od rodzaju parametru podlegającego analizie, następującą postać:

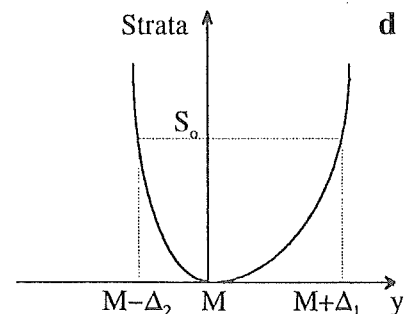
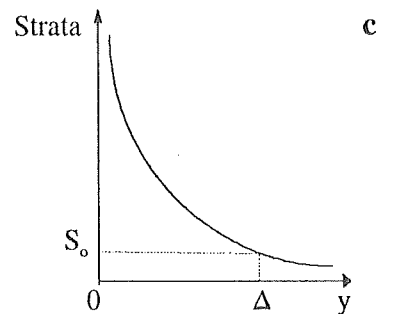
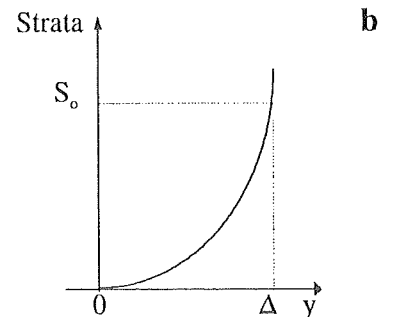
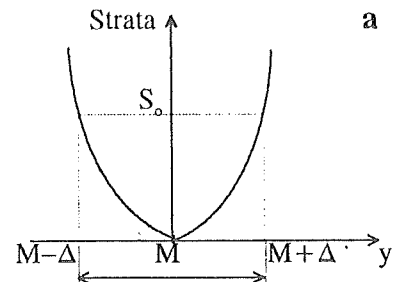
● dla wielkości typu optyment, z wartością pożadaną w środku pola tolerancji (rys. 3 – a) – np. wymiary tolerowane symetrycznie:

$$S(y) = k(y - M)^2 \quad (2)$$

gdzie: $k = \frac{S_0}{\Delta^2}$ – współczynnik strat jakościowych,
M – wartość pożadana parametru y,



Rys. 2. Tradycyjny model funkcji strat



Rys. 3. Rodzaje charakterystyk jakościowych ze względu na położenie wartości pożądanej

$M \pm \Delta$ – tzw. granice funkcjonalne dla parametru y , tj. wartości cechy, przy których produkt nie będzie działał lub będzie odbierany jako wadliwy, w 50% przypadków; w fazie produkcji mogą to być granice tolerancji parametrów przedstawiających tzw. jakość wykonania (np. wymiary, chropowatość), S_0 – jak we wzorze (1).

● dla wielkości typu miniment, o wartości pożądanej M równej zero, np. odchyłki kształtu lub położenia w budowie maszyn (rys. 3 – b):

$$S(y) = ky^2 \quad (3)$$

gdzie oznaczenia jak we wzorze (1) i (2).

● dla wielkości typu maksimum, o wartości pożądanej równej nieskończoności – np. wytrzymałość zmęczeniowa materiału (rys. 3 – c):

$$S(y) = k \left[\frac{1}{y^2} \right] \quad (4)$$

gdzie: $k = S_0 \Delta^2$

● dla wielkości o niesymetrycznych granicach funkcjonalności względem wartości pożądanej, tj. $M_{-\Delta_1}^{+\Delta_2}$ (rys. 3 – d):

$$S(y) = \begin{cases} k_1(y-M)^2 & \text{dla } y > M \\ k_2(y-M)^2 & \text{dla } y < M \end{cases} \quad (5)$$

gdzie: $k_1 = \frac{S_0}{\Delta_1}$, $k_2 = \frac{S_0}{\Delta_2}$

Istotną jest możliwość określania straty jakościowej dla zbiorowości wyrobów o rozpatrywanej charakterystyce jakościowej. W przypadku gdy wartość średnia tej charakterystyki wynosi μ , a odchylenie standardowe σ , wtedy uśredniona strata jakościowa w tej populacji wynosi:

$$Q = k[(\mu - m)^2 + \sigma^2] \quad (6)$$

Przykład liczbowy

Producent wymaga, aby wytwarzany element pewnego urządzenia miał średnicę zewnętrzną $\varnothing 20_{-0,016}^{+0,005}$ mm i odchyłkę okrągłości tej średnicy $\sigma \leq 8 \mu\text{m}$. Wartości pożądane

obu parametrów wynoszą odpowiednio: 20 000 mm i 0, koszt przekroczenia górnej granicy tolerancji średnicy \varnothing wynosi 1000 zł/szt (brak naprawialny), koszt przekroczenia dolnej granicy tolerancji – 5000 zł/szt., a koszt przekroczenia dopuszczalnej odchyłki okrągłości – 5000 zł/szt. W tabeli podano wartości stwierdzonych odchyłeń obu rozpatrywanych parametrów od wartości pożądanych. W każdym dniu roboczym (23 dni) mierzono jeden losowo wybrany element. Przyjmując miesięczną produkcję 100 000 sztuk analizowanych elementów, należało określić miesięczny poziom jakości (stratę jakościową) dla tych wyrobów, ze względu na analizowane parametry i założyć doskonałą reprezentatywność przedstawionych danych dla prowadzonej produkcji.

	Średnica	Odchyłka okrągłości
Wartości odchyłeń od wartości pożądanej w kolejnych dniach	-3, -6, -4, -3, 2, 1, -8, -3, 0, -1, -1, -7, -5, 2, 2, 1, -3, 2, 0, 1, -5, -4, 2	3, 2, 1, 0, 3, 2, 2, 0, 5, 1, 2, 2, 4, 1, 3, 1, 0, 0, 3, 2, 1, 1, 1

Średnica \varnothing jest parametrem, który odpowiada modelowi strat podanemu na rys. 3d, stąd do określenia poziomu jakości należy wykorzystać wzór (5):

$$S_1 = \frac{1}{23} \left[\frac{5000}{(-16)^2} [(-3)^2 + (-6)^2 + \dots + (-4)^2] + \frac{1000}{5^2} [1^2 + 2^2 + \dots + 2^2] \right] = 261,5 \text{ zł/szt.}$$

Odchyłka okrągłości jest minimentem, dlatego do obliczenia jakości należy zastosować wzór (3):

$$S_2 = \frac{1}{23} \left[\frac{5000}{8^2} [3^2 + 2^2 + \dots + 1^2] \right] = 366,7 \text{ zł/szt.}$$

Strata jakościowa dla pojedynczego wyrobu ze względu na rozpatrywane wielkości wynosi średnio w skali miesiąca:

$$S = S_1 + S_2 = 261,5 + 366,7 = 628,2 \text{ zł/szt.}$$

W odniesieniu do miesięcznej produkcji będzie to 100 000 x 628,2 = 62 820 000 zł. Widać więc, jak

wielkie potencjalne korzyści można uzyskać zmniejszając rozrzut względem wartości pożądanych obu analizowanych parametrów.

Funkcja strat jakościowych a tolerancja

Niezwykle cenną jest możliwość wykorzystania filozofii straty jakościowej do ekonomicznie uzasadnionego doboru tolerancji wykonawczej. W najprostszym ujęciu chodzi o to, aby producent stosował, w odniesieniu do danej charakterystyki jakościowej (w tym przypadku – optymentu), czynności regulacyjne lub naprawcze, gdy:

$$\frac{S}{\Delta^2} (y - m)^2 \leq \frac{S_0}{\Delta_0^2} (y - m)^2 \quad (7)$$

gdzie:

2Δ – szerokość przedziału tolerancji

charakterystyki jakościowej dla producenta, $2\Delta_0$ – szerokość przedziału tolerancji charakterystyki jakościowej wymagana przez odbiorcę, S – strata producenta spowodowana przez wadliwy wyrób, S_0 – strata konsumenta spowodowana przez wadliwy wyrób.

Przekształcając wzór (7), obliczyć można wielkość Δ , jaką powinien przyjąć producent dla danej charakterystyki jakościowej, przed przekazaniem wyrobu użytkownikowi:

$$\Delta = \sqrt{\frac{S}{S_0}} \Delta_0 \quad (8)$$

Piotr Grudowski

BIBLIOGRAFIA

- [1] TAGUCHI G., ELSAYED A., HSIANG T., *Quality Engineering In Production Systems*, McGraw-Hill, New York 1989.
[2] PHADKE M.S., *Quality Engineering Using Robust Design*, Prentice Hall, New Jersey 1989.

Autor – dr inż. jest pracownikiem naukowym Zakładu Inżynierii, Jakości i Metrologii Politechniki Gdańskiej.