



KTÓRY PROCES JEST NAJLEPSZY – PRZYKŁAD PRAKTYCZNEGO WYKORZYSTANIA KART KONTROLNYCH I ANALIZY ZDOLNOŚCI DO OCENY PROCESÓW

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

Wstęp

Zdolność procesu do spełnienia wymagań klienta (specyfikacji) jest jednym z najważniejszych celów, do których dąży przedsiębiorstwo produkcyjne. Spełnienie wymagań klienta, co wydaje się być naturalne, stanowi warunek konieczny do tego, aby wyprodukowane obiekty sprzedać. Produkt końcowy lub półprodukt przeznaczony do dalszego przetwarzania charakteryzuje się co najmniej jedną cechą, która przekłada się bezpośrednio lub pośrednio na jakość. Jeżeli cecha ta może być opisana wielkością liczbową (długość w [mm], ciężar w [g]), wtedy istnieje możliwość oszacowania wskaźnika, który pozwoli w sposób bezwzględny ocenić, jak dobrze proces spełnia wymagania specyfikacji. Podstawą wskaźnika zdolności jest fundamentalne założenie, że procesy wytwarzające dany produkt charakteryzują się pewną zmiennością. Można to ująć też tak: to nie (same z siebie) produkowane pierścienie tłoków różnią się minimalnie od siebie, ale proces produkcyjny jest w pewnym stopniu niestabilny, wynikiem czego są różnice w średnicach poszczególnych pierścieni. Lub inaczej: średnica pierścieni wytwarzanych przez proces będzie mieć pewną wartość średnią (centralną), wokół której w pewien sposób układać się będą zmierzone wartości poszczególnych średnic. Ten układ wartości będzie charakteryzował się pewnym kształtem – dużo pierścieni będzie mieć średnicę bliską wartości średniej, natomiast im dalej będziemy się oddalać od tej wartości, tym pierścieni będzie mniej. Zazwyczaj będziemy mieć do czynienia z rozkładem normalnym (który najczęściej występuje w przyrodzie i technice), co oznacza, że uzyskanie średnicy pierścienia o wartości oddalonej od wartości średniej o więcej niż 3 odchylenia standardowe będzie mało prawdopodobne – ale jednak możliwe. Nauką, która jest w stanie ocenić zjawiska „nieprecyzyjne”, czyli obarczone zmiennością, jest statystyka i to właśnie ona pozwoli najlepiej ocenić zdolność procesu, gdyż uwzględni jego losową zmienność.

Aby scharakteryzować zdolność procesu, potrzebujemy dwóch informacji: ustalonej granicy (granic), której rozważany parametr nie może przekroczyć (specyfikacja) oraz danych pomiarowych pochodzących z procesu, które pozwolą na oszacowanie wspomnianego wyżej rozkładu. Naturalnym i uniwersalnym wskaźnikiem zdolności jest poziom prawdopodobieństwa, z jakim rozważany parametr przekroczy założone specyfikacje.



Prawdopodobieństwo to zależy od tego, jak odległy od granic specyfikacji jest przedział wartości danego parametru. Okazuje się jednak, że takie podejście jest trudne obliczeniowo i wymaga niejednokrotnie dużej wiedzy statystycznej (taki sposób oceny zdolności jest pośrednio wykorzystywany między innymi w strategii *Six Sigma*). Dlatego też zazwyczaj używa się prostszych w obliczaniu i interpretacji wskaźników zdolności, takich jak C_p czy też C_{pk} .

W przykładzie, który zostanie przedstawiony poniżej, właśnie te wskaźniki stanowią główne kryterium wyboru odpowiedniego procesu produkcyjnego. Przykład, który posłuży za bazę w poniższych rozważaniach, pochodzi z artykułu opisanego w miesięczniku *Quality Progress* [1].

Skutki fuzji

Pewna organizacja działająca w branży lotniczej przejęła jeden z mniejszych zakładów. Po przejściu zdano sobie sprawę z faktu, że teraz w organizacji istnieją dwie metody (metoda A oraz metoda B) mocowania elementów w łożysku. Okazało się, że sposoby te nie różnią się istotnie, jeśli chodzi o koszty, wobec czego postanowiono wybrać sposób dający lepsze wyniki i wdrożyć go w całej organizacji. Przyjęcie jednego sposobu mocowania w całej organizacji miało na celu standaryzację oraz ograniczenie kosztów związanych z magazynowaniem zasobów związanych z dwoma odmiennymi procesami mocowania. Zadaniem inżynierów było zadecydowanie, który ze sposobów jest lepszy. W tym celu dla obydwu procesów zebrano dane dotyczące siły zrywania (52 pomiary dla każdego), czyli parametru, który był dla tego wyrobu kluczowy.

Tabela 1. Dane zebrane dla procesów A i B. Źródło: [1].

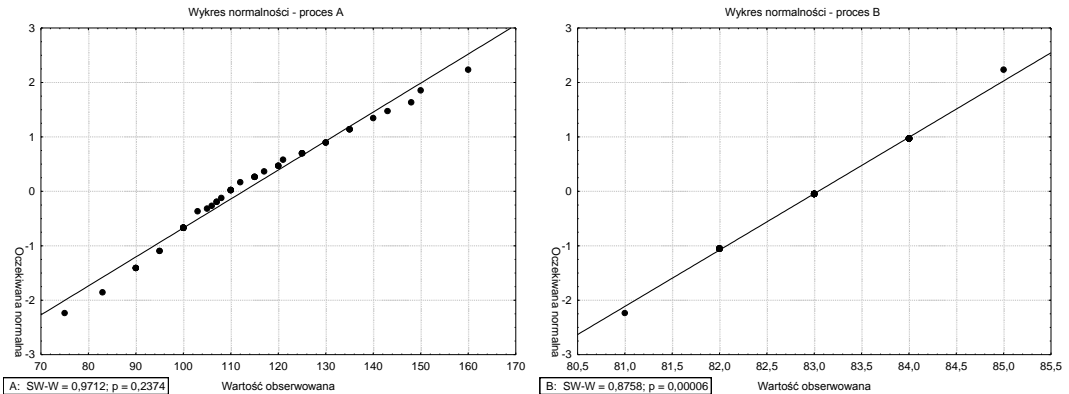
	1	2		1	2		1	2		1	2
	A	B		A	B		A	B		A	B
1	143	84	14	90	84	27	135	83	40	130	82
2	110	84	15	75	84	28	110	84	41	106	82
3	103	82	16	112	83	29	100	82	42	117	83
4	125	82	17	95	83	30	115	83	43	100	84
5	125	83	18	95	84	31	90	84	44	110	84
6	135	83	19	125	83	32	121	84	45	100	83
7	108	82	20	100	83	33	100	83	46	90	83
8	100	82	21	107	83	34	148	83	47	140	84
9	105	84	22	107	82	35	160	82	48	90	83
10	115	83	23	150	83	36	130	83	49	120	82
11	120	84	24	100	84	37	130	84	50	100	82
12	110	83	25	115	82	38	100	82	51	83	83
13	100	83	26	120	83	39	110	81	52	135	85

Założono, że siła, która powoduje zerwanie mocowanych elementów, nie powinna mieć mniejszej wartości niż 50 (pewnych jednostek).

To, czego nie lubimy robić – sprawdzanie założeń

Niestety, obliczając zbyt pochopnie wskaźniki zdolności, narażamy się na ryzyko, że otrzymana w ten sposób informacja będzie niepoprawna. Metoda obliczania wskaźników

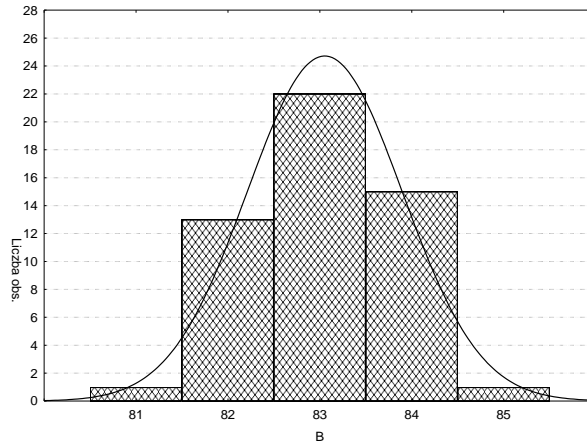
zdolności opiera się na założeniu, że analizowany zbiór danych podlega rozkładowi normalnemu i, co poniekąd się z tym wiąże, jest stabilny w sensie statystycznym. Rozważmy zatem normalność zebranych danych. Poniżej znajdują się wykresy normalności sporządzone w oparciu o dane dla obydwu metod. Na rysunkach, w lewym dolnym rogu, znajduje się dodatkowo wynik testu normalności Shapiro-Wilka.



Rys 1. Wykresy normalności dla procesów stworzone w oparciu o dane z tabeli 1.

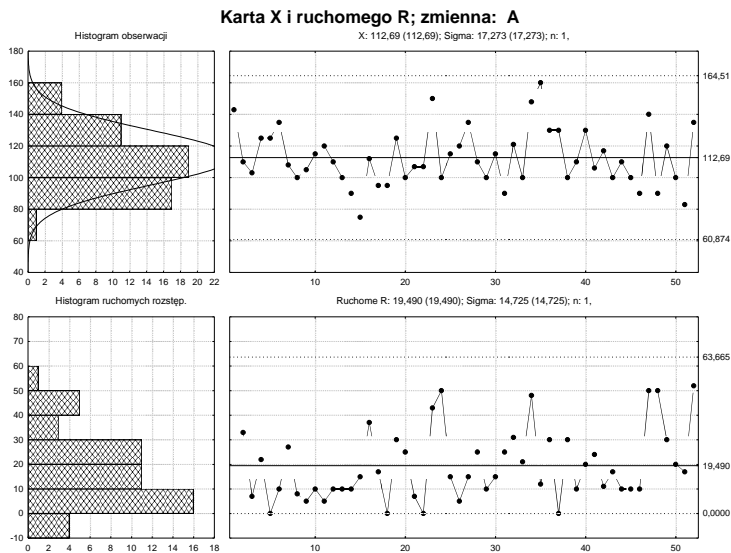
W przypadku metody A widać, że niebieskie punkty reprezentujące pomiary układają się wzdłuż prostej linii oraz prawdopodobieństwo testowe testu Shapiro-Wilka jest większe od 0,05, z czego wynika, że bez dalszego wgłębiania się w problem możemy przyjąć, że rozkład danych jest normalny. Wynik uzyskany dla danych z metody B jest natomiast ciekawszy. Co prawda wartość p jest dużo mniejsza od przyjętej wartości granicznej 0,05, ale z drugiej strony punkty leżą na prostej. No właśnie, leżą na prostej, ale dlaczego jest ich tylko 5, jeżeli wykonanych było aż 52 pomiary. Otóż okazało się, że urządzenie pomiarowe, które zostało użyte do oceny elementów dla obydwu procesów, miało zbyt małą rozdzielczość dla procesu B. Niezależnie od tego, jaka była prawdziwa wartość mierzonej właściwości, z miernika można było tylko odczytać wartości 81, 82, 83, 84 lub 85. Taki brak możliwości odróżniania wartości w zakresie występowania danego parametru powoduje, że pewne testy statystyczne dają negatywne wyniki. Jest to właściwe, gdyż rozkład „widziany” przez analizę nie jest normalny ze względu na braki pomiędzy wartościami całkowitymi. W takim przypadku powinniśmy się przyjrzeć danym od innej strony, stworzymy więc histogram.

Z przedstawionego poniżej histogramu wynika, że najliczniej występują pomiary o wartości 83 (aż 22 pomiary przyjęły tę wartość), natomiast licznosci kolejnych wartości, w lewo i w prawo, bardzo szybko maleją, tak jak to jest w przypadku rozkładu normalnego (odpowiednio 13 i 15 dla wartości 82 i 84 oraz po jednym pomiarze o wartości 81 i 85). Ponadto dopasowanie teoretycznej krzywej rozkładu normalnego, do rozkładu empirycznego reprezentowanego przez histogram, wydaje się być odpowiednio dobre. Biorąc również pod uwagę, że mierzona właściwość jest tak naprawdę ciągła, możemy przyjąć, że rozkład zmiennej B jest normalny.



Rys 2. Histogram dla danych z procesu B.

Kolejnym założeniem, które powinno zostać spełnione przed przystąpieniem do obliczania wskaźników zdolności procesu, jest jego stabilność. Wykorzystuje się do tego celu karty kontrolne Shewharta. W naszym przykładzie posłużymy się kartą kontrolną pojedynczych obserwacji, ponieważ licznosc próbeki jest równa 1. Stwórzmy taką kartę dla metody A:

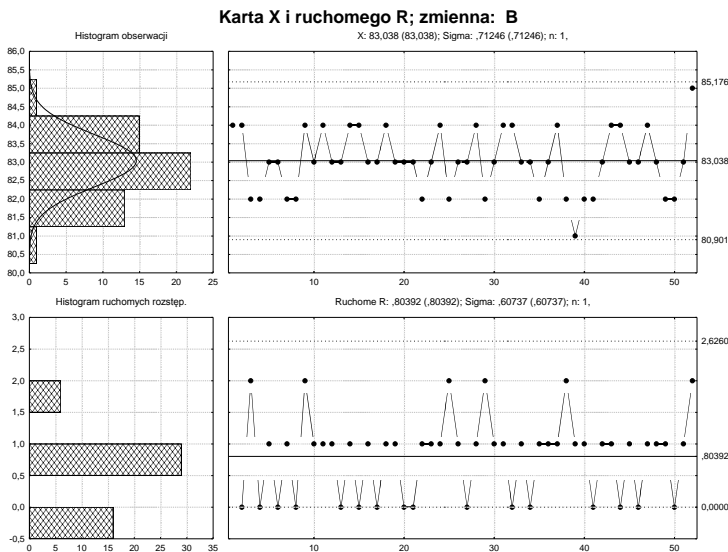


Rys. 3. Karty kontrolne dla procesu A.

Z powyższych wykresów wynika, że proces jest stabilny w czasie. Zarówno na karcie pojedynczych wartości (wyżej), jak i na karcie ruchomego rozstępu (niżej) nie ma punktów wskazujących na rozregulowanie (brak punktów poza granicami kontrolnymi). Nie widać również nielosowych zmian w przebiegu procesu, takich jak trendy czy skoki wartości średniej. Karta pojedynczych obserwacji mówi o stabilności średniej procesu, natomiast

karta ruchomego rozstępu mówi o tym, czy zmienność procesu jest stabilna. W tym momencie spełnione są założenia uprawniające nas do obliczenia wskaźników zdolności dla procesu A.

Stwórzmy teraz taką samą kartę kontrolną dla procesu B:



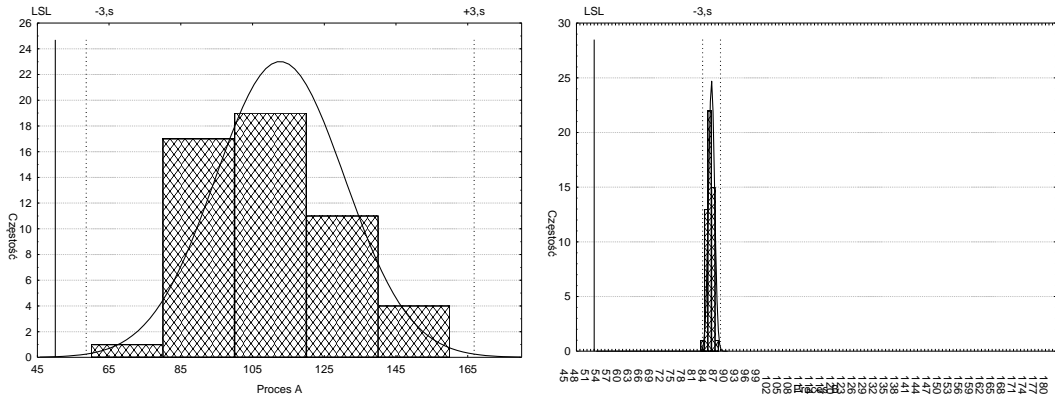
Rys. 4. Karty kontrolne dla procesu B.

Na pierwszy rzut oka proces B również jest ustabilizowany w sensie statystycznym, ale zanim przejdziemy nad tym faktem do porządku dziennego, powinniśmy zwrócić uwagę na to, że na karcie ruchomego rozstępu poniżej górnej granicy kontrolnej rozróżniane są tylko 3 wartości. Przyjmuje się natomiast, że rozróżnianych wartości powinno być co najmniej 4, w przeciwnym przypadku karta kontrolna nie jest w stanie ocenić stabilności procesu. Co zatem powinniśmy zrobić? Najlepszym podejściem byłoby ponowne zebranie danych z użyciem miernika o większej rozdzielczości (np. 2 razy większej, tak żeby odróżnić wartość 80 od 80,5). Okazało się jednak, że na cały projekt narzucono ograniczenia czasowe i takie rozwiązanie musiało zostać odrzucone. Aby potwierdzić stabilność procesu B, oparto się dodatkowo na danych historycznych, które potwierdziły stabilność, ale jednocześnie inżynierowie zasygnalizowali problem wykorzystywania nieodpowiedniego urządzenia pomiarowego dla tego procesu.

Ostatecznie potwierdzono stabilność obydwu procesów, co dało zielone światło do przeanalizowania ich zdolności.

Konkurs piękności

Tak jak to było wspomniane wyżej, w ostatecznym rachunku najistotniejszą właściwością procesu jest jego zdolność do spełnienia wymagań klienta. Przyjęto (klient zażądał), że wartość badanego parametru nie może być niższa niż 50. Wcześniej zajmowaliśmy się procesami bez uwzględnienia wymagań specyfikacji (patrzyliśmy na procesy w sposób ogólny), zobaczymy więc, jak wypada to porównanie na wykresach zdolności:



Rys. 5. Wykresy zdolności.

Z wykresów wynika, że obie metody spełniają wymagania narzucone przez specyfikacje, brak jest wartości poniżej 50. Dla metody A wskaźnik zdolności (C_{pk}) ma wartość około 1,2, natomiast dla metody B wynosi on około 15,5. Inżynierowie mieli nadzieję, że na tym etapie uda się odrzucić jeden z procesów ze względu na zbyt niską wartość C_{pk} , tak się jednak nie stało. Należało zatem rozważyć inne parametry. Proces A ma średnią na poziomie 112, natomiast proces B na poziomie 83, czyli jest ona dużo niższa. Zdecydowało to o tym, że proces A zdobył sobie wielu zwolenników, gdyż wiele elementów z procesu A było zamontowanych bardziej solidnie niż te z procesu B. Z drugiej strony proces B ma mniejszy rozrzut wartości w porównaniu z procesem A. O ile w zwykłym konkursie piękności szerokość jest kwestią gustu, o tyle w SPC żelazną zasadą jest to, że czym rozkład jest węższy, tym jest lepszy. Dlaczego? Tak jak to było wspomniane wcześniej, naturalnym (fundamentalnym) wskaźnikiem zdolności procesu jest prawdopodobieństwo wyprodukowania elementu, który nie będzie spełniał specyfikacji. Czym to prawdopodobieństwo będzie większe, tym proces będzie gorszy. Podchodząc do tego zagadnienia bardziej praktycznie, możemy przyjąć za wskaźnik zdolności procesu ilość produktów niespełniających specyfikacji na milion wyprodukowanych sztuk (PPM – wskaźnik wykorzystywany w strategii *Six Sigma*). Tego typu podejście daje bardzo rzeczywisty pogląd na proces i pozwala oszacować koszt złej jakości. W przypadku procesu A specyfikacji nie będzie spełniać około 140 wyrobów na milion sztuk, natomiast w przypadku procesu B liczba wyrobów niezgodnych na milion jest praktycznie równa 0. Ktoś może powiedzieć, że 140 na milion to niedużo i rzeczywiście tak może być, jeżeli wyroby nie są drogie czy też nie stanowią kluczowego elementu odpowiedzialnego za bezpieczeństwo.



Doszliśmy teraz do kluczowego momentu w naszych rozważaniach – związku stabilności procesu, która była rozważana wcześniej, z jego zdolnością. Jeżeli nie będziemy w stanie zapewnić stabilności, szacowanie zdolności będzie mało wiarygodne. Wyobraźmy sobie, że średnia procesu A ulegnie przesunięciu o 1 sigma w lewo, czyli przy tej samej zmienności średnia będzie wynosić około 100. Spowoduje to, że sztuki niezgodne będziemy liczyć już w tysiącach na milion. Natomiast takie samo przesunięcie dla procesu B, przesunięcie o 1 sigma procesu B, praktycznie nie wpłynie na ilość wyrobów niezgodnych, dalej będzie ona wynosić „prawie” zero. Wynika stąd, że proces B jest procesem bardziej pewnym i on powinien zostać wybrany jako standard.

Zobaczymy, jaki sposób wybrali inżynierowie, aby ostatecznie wybrać proces, który zostanie przyjęty jako standard w całej korporacji. Dla zarządu najważniejsze były wskaźniki jakości i inżynierowie musieli na tej podstawie odrzucić jeden z procesów. Postanowili zatem obliczyć przedziały ufności dla wskaźników Cpk otrzymanych dla procesów A i B. Wskaźniki zdolności, podobnie jak np. średnia, przybliżają pewne nieznanne wartości za pomocą jednej liczby. Przybliżenie to jest oczywiście obciążone błędem, który zależy między innymi od ilości danych użytych do obliczeń. Przedziały ufności dla wskaźników zdolności nie są proste do uzyskania, ale program komputerowy obliczy je z taką samą łatwością jak sam wskaźnik. Po obliczeniu 95% przedziałów ufności okazało się, że dla procesu A wskaźnik Cpk z dużym prawdopodobieństwem może osiągać wartość 0,9, natomiast otrzymanie wskaźnika Cpk o wartości mniejszej od 12, dla procesu B jest mało prawdopodobne. Argument ten przeważał i ostatecznie odrzucono proces A.

Co dalej?

Co prawda w powyższym przykładzie chodziło tylko o wybór odpowiedniego procesu, ale na całość można by spojrzeć szerzej. Co prawda wybrany został proces B, ale proces A też miał swoje zalety. Zwracam uwagę na następującą rzecz, od której w zasadzie powinienem rozpocząć. SPC, statystyczne sterowanie procesami, zostało wymyślone jako coś, co może usprawnić pewne działania, ale przede wszystkim chodziło o pieniądze. Z jednej strony stosowanie metod statystycznych pozwala na poprawienie jakości produktów, a w rezultacie ich konkurencyjności, natomiast z drugiej strony, dzięki poznaniu zmienności procesu możemy prowadzić go tak, aby minimalizować straty. Proces rozważany wyżej prawdopodobnie nie był procesem kluczowym i nie opłacało się (przynajmniej na daną chwilę) wdrażać programu poprawy jednego z procesów. Gdyby jednak do tego doszło, mielibyśmy tu podejście bardzo podobne do tego stosowanego w strategii *Six Sigma*. W tym przypadku motorem działania była chęć standaryzacji, natomiast strategia *Six Sigma* jest dużo bardziej nastawiona na zyski i oszczędności; miarą dobrze przeprowadzonego projektu są oszczędności lub nowe zyski w dolarach lub złotychkach. Zwiększając jakość naszych produktów, oprócz tego, że poprawiamy nasz wizerunek, zazwyczaj otwieramy przed produktem nowe możliwości zbytu. Potencjał procesu również jest jego wartością. Aby to osiągnąć, w procesie A należałoby zmniejszyć zmienność lub w procesie B podnieść wartość średnią (to drugie zapewne byłoby łatwiejsze).



Niezależnie od tego, jaka jest zdolność procesu, jedno jest pewne: jeżeli pozostawimy go bez kontroli, wcześniej czy później wskaźniki zdolności ulegną pogorszeniu. Niezbędnym elementem poprawnie przeprowadzonego projektu związanego z poprawą jakości jest ustanowienie systemu, który pozwoli monitorować proces na bieżąco i zapobiegać możliwości wyprodukowania elementów niezgodnych. W przypadku dużych organizacji, ale również coraz częściej w małych zakładach, niezbędne wydają się być systemy pozwalające monitorować na bieżąco kluczowe parametry procesów i reagować w czasie rzeczywistym na problemy z jakością produktu.

Literatura

1. LeRoy A. Franklin, Belva J. Cooley, Gary Elrod, “Comparing the importance of variation and mean of distribution”, Quality Progress, 1999, s. 90-94.
2. Douglas C. Montgomery, „Introduction to statistical quality control”, Third edition, John Wiley & Sons, Inc., 1997.
3. Tomasz Greber, „Statystyczne sterowanie procesami – doskonalenie jakości z pakietem *STATISTICA*”, StatSoft Polska Sp. z o.o., 2000.