



ROLA JAKOŚCI POMIARÓW W SYSTEMIE SPC – PRAKTYCZNE PODEJŚCIE DO MSA

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

Wstęp

Trudno nie zauważyć, że do przeprowadzenia jakiegokolwiek analizy statystycznej potrzebne są dane. To w oparciu o nie wyciągane są wnioski dotyczące pewnych zjawisk i podejmowane są pewne decyzje. W tym miejscu przytoczę słowa Lorda Kelvina: „Jeżeli jesteśmy w stanie zmierzyć to, o czym mówimy, i wyrazić to w sposób liczbowy, można powiedzieć, że coś o tym wiemy; jeżeli nie jesteśmy w stanie tego zmierzyć, wyrazić tego w sposób liczbowy, nasza wiedza jest skromna i niesatysfakcjonująca.” Wynika z tego, że im lepiej opiszemy pewne zjawisko, i to za pomocą liczb, tym więcej będziemy w stanie o nim powiedzieć. Wraz z rosnącą dokładnością danych będziemy otrzymywać dokładniejsze informacje i podejmowane decyzje będą bardziej trafne. Pojawia się tutaj problem jakości wykorzystywanych przez nas danych, które najczęściej są rezultatem pomiarów. W poniższym artykule postaram się omówić ten problem w kontekście systemów do statystycznego sterowania jakością.

Systemy do statystycznego sterowania jakością tworzone są po to, aby w sposób zintegrowany zapewnić jakość wytwarzanych produktów. Niestety utrzymanie jakości na odpowiednim poziomie wiąże się z pewnymi nakładami. Dopóki nakłady te są odpowiednio małe w stosunku do zysków z produkcji, wszystko jest w porządku. Problem zaczyna się wtedy, gdy rosną wymagania klientów co do ilości monitorowanych parametrów oraz częstości pobierania próbek. Może się wtedy okazać, że stosowany do tej pory system zaczyna być niewystarczający, potrzebny przepływ danych i informacji jest zbyt duży. Z hali produkcyjnej do działu jakości przekazywanych jest coraz więcej informacji o procesie na papierowych kartach kontrolnych, inżynier jakości coraz więcej czasu poświęca na zestawienia i coraz więcej czasu zajmuje udowodnienie audytorowi, że proces wytwarza elementy o odpowiedniej jakości. Co w takim przypadku należy zrobić? Monitorowanie procesów produkcyjnych jest takim samym procesem w przedsiębiorstwie jak same procesy i trzeba do niego zastosować podobne podejście – poprawić jego jakość. Gdybyśmy podeszli do rozwiązania tego problemu zgodnie ze strategią *Six Sigma*, wtedy powinniśmy przeanalizować problem, zebrać dane, a następnie zaproponować odpowiednie działania w oparciu o zdobytą w ten sposób wiedzę, by w końcu sprawdzić efekty wprowadzonych zmian. Takie podejście stosuje się w przypadku, gdy mamy do czynienia



z trudnymi problemami, dla których należy znaleźć indywidualne rozwiązanie. W tym przypadku jednak wiadomo, że najlepszym rozwiązaniem jest wdrożenie zintegrowanego systemu do SPC opartego na odpowiednim systemie informatycznym. W strategii *Six Sigma*, jeżeli znane jest rozwiązanie danego problemu, wtedy nie jest wdrażany cały cykl działań, ale postępuje się według zasady „*just do it*” (po prostu to zrób).

Najciemniej pod latarnią

Zadaniem zintegrowanego systemu do SPC jest zapewnienie szybkiego i niezawodnego przepływu danych i informacji, co w niewiarygodny sposób przyspiesza prace związane z monitorowaniem jakości procesów produkcyjnych. Kiedy mowa o systemach SPC, warto zwrócić uwagę, że decyzje podejmowane w sterowaniu jakością oparte są na wiedzy wydobytej z danych pomiarowych. Tak naprawdę nie mamy innego źródła informacji, które pozwoli na zapobieganie problemom z jakością. W celu zapewnienia odpowiedniej jakości podejmowanych decyzji, w ramach systemu SPC, powinna zostać zapewniona odpowiednia jakość samych danych pomiarowych.

Dane w postaci liczb, które ostatecznie trafiają do bazy danych, są wynikiem pomiarów różnych wielkości fizycznych. W dużych przedsiębiorstwach mierzonych może być bardzo dużo najróżniejszych właściwości na wielu urządzeniach pomiarowych. Czasami, zwłaszcza kiedy właściwości są mierzone ręcznie, mogą pojawić się grube błędy pomiarowe, które zazwyczaj są bardzo uciążliwe. Wprowadzenie do zapisów grubego błędu z jednej strony powoduje po prostu utratę informacji, a z drugiej przysparza pracy inżynierowi jakości. Inżynier jakości w zasadzie każdy z takich dziwnych pomiarów musi oddzielnie rozważyć: czy jest to rzeczywiście błąd czy też wartość odstająca, która może świadczyć o rzeczywistych problemach z procesem. Większość grubych błędów jest wynikiem nieodpowiednich procedur i mechanizmów, które dopuszczają możliwość ich popełnienia.

Na szczęście wdrażane obecnie systemy do SPC są w stanie praktycznie całkowicie zapobiec takim sytuacjom, gdyż eliminują miejsca, w których istnieje możliwość wprowadzenia niepoprawnych pomiarów. Niestety ciągle w niektórych systemach jakości uważa się, że wprowadzanie wartości ręcznie na kartkę papieru jest najlepszym sposobem zbierania danych. Niestety w takim systemie mogą zostać popełnione błędy, które wynikają z zasady, że najslabszym elementem wielu systemów jest człowiek.

Pierwszym rodzajem grubego błędu jest popełnienie „literówki” przez osobę, która wpisuje wyniki pomiarów, czy też przesłanie z urządzenia pomiarowego niepoprawnej wartości. W przypadku systemów opartych na kartce papieru błędy tego typu są praktycznie nie do opanowania, natomiast w systemach informatycznych rozwiązanie tego problemu jest poniekąd naturalne. Dla każdej ze zmierzonych właściwości można określić przedział, w którym powinna znaleźć się wartość pomiaru. Jeżeli pomiar wykracza poza ten przedział, osoba, która wprowadza pomiar, jest o fakcie przekroczenia tego zakresu informowana i może podjąć odpowiednie działania aby od razu rozwiązać problem, np. poprzez wprowadzenie pomiaru jeszcze raz (teraz już bezbłędnie).



W zintegrowanym rozwiązaniu informatycznym wprowadzony pomiar wędruje do bazy danych i nie ma żadnych pośrednich etapów w trakcie zapisu, w których uczestniczy człowiek. Jeżeli natomiast system nie jest w pełni zintegrowany, tzn. istnieją punkty w strumieniu przepływu danych, gdzie muszą one być przeniesione ręcznie, mogą wystąpić bardzo niebezpieczne sytuacje powodujące „zniszczenia” całych bloków danych, czy też naruszenia struktury danych.

Podsumowując, w systemie do SPC ważna jest oczywiście jakość systemu pomiarowego, o czym będzie mowa dalej, ale równie ważne jest zapewnienie odpowiedniego przepływu danych i wprowadzenie mechanizmów zapobiegających wprowadzaniu do systemu błędów grubych, co wydawało by się naturalne, ale często jest pomijane.

Półw kijanek siecią na wieloryba

Powyżej omówione zostały systemowe aspekty pomiarów, a konkretnie, na co należy zwrócić uwagę w systemie SPC, aby zapewnić jak najwyższą jakość danych pomiarowych.

Jakość pomiarów ma oczywiście swój naturalny aspekt związany bezpośrednio z mierzoną cechą procesu produkcyjnego.

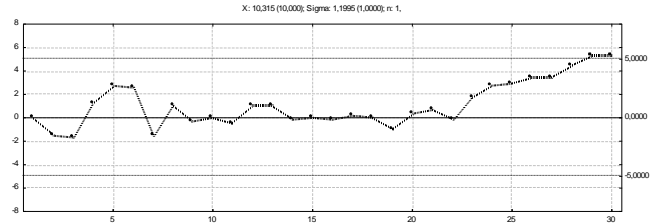
Po pierwsze miernik powinien mieć odpowiednią rozdzielczość, która pozwoli na wykrycie i oszacowanie zmienności danej właściwości procesu. Problem ten został już poruszony w poprzednim artykule mojego autorstwa. Była tam mowa o tym, że na karcie kontrolnej znajduje się tylko kilka różnych wartości i w takim przypadku karta kontrolna po prostu nie będzie spełniała swojej funkcji. Jej rolą jest wykrywanie ewentualnych przesunięć w procesie (rozregulowań). Jeżeli miernik odróżnia zbyt mało wartości w interesującym zakresie (w przypadku SPC jest to zakres zmienności procesu), wtedy na karcie otrzymamy rozregulowanie dopiero wtedy, gdy wartość właściwości „przeskoczy” do następnej wartości, którą można odczytać na mierniku. Sytuację taką można porównać do oglądania parady przez lornetkę, która ma źle ustawioną ostrość – coś widać, ale nie widać szczegółów. Aby odnieść się do zagadnień przemysłowych (jakościowych), rozważmy następujący przykład. Pewien proces został przeanalizowany i okazało się, że wartość średnia tego procesu wynosi 10, natomiast sigma 1. Dla jakości procesu kluczowe jest, aby wykrywać nawet drobne przesunięcia średniej. Zaprojektowano więc odpowiednią kartę kontrolną, która jest w stanie szybko wykryć przesunięcia wartości średniej procesu – kartę sum skumulowanych dla pojedynczych obserwacji. Karta ta różni się tym od standardowej karty pojedynczych obserwacji, że nie przedstawia rzeczywistych wartości, ale ich skumulowane odchyłki od pewnej założonej na stałe wartości (w naszym przypadku jest to 10). Do pomiaru procesu użyto dwóch mierników: pierwszy z nich miał dokładność do jednostek, a drugi o dwa rzędy wielkości większą, czyli do setnych części jednostki. Przeprowadzono następujące doświadczenie: z procesu pobierany był element i właściwość mierzona była na obydwu miernikach i prowadzone były dwie oddzielne karty kontrolne. Uzyskane dane przedstawione są w tabeli poniżej:



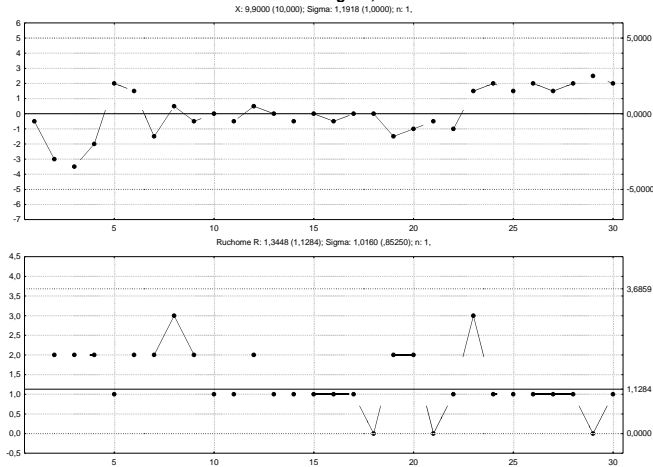
Tabela 1. Dane pomiarowe z mierników o różnej precyzji. Źródło: Miernik 1 – opracowanie własne, Miernik 2 – [2].

	1	2		1	2
	Miernik1	Miernik2		Miernik1	Miernik2
1	9	9.45	16	9	9.37
2	7	7.99	17	10	10.62
3	9	9.29	18	10	10.31
4	11	11.66	19	8	8.52
5	12	12.16	20	10	10.84
6	10	10.18	21	10	10.90
7	8	8.04	22	9	9.33
8	11	11.46	23	12	12.29
9	9	9.20	24	11	11.50
10	10	10.34	25	10	10.60
11	9	9.03	26	11	11.08
12	11	11.47	27	10	10.38
13	10	10.51	28	11	11.62
14	9	9.40	29	11	11.31
15	10	10.08	30	10	10.52

Karta CUSUM X i ruchomego R; zmienna: Miernik2



Karta CUSUM X i ruchomego R; zmienna: Miernik1



Rys. 1. Karty kontrolne CUSUM dla tożsamej właściwości procesu mierzonej miernikami o różnej rozdzielczości.

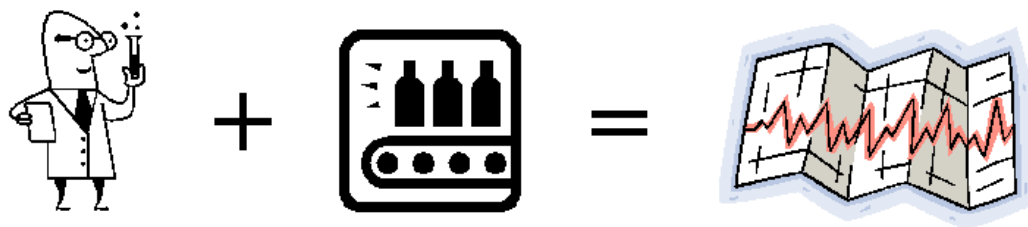
Porównanie kart kontrolnych (rys. 1) pokazuje korzyści płynące ze stosowania miernika o odpowiedniej rozdzielczości. Miernik, który zaokrągla wartości, pozwoli na wykrycie rozregulowania często dużo później i ponadto trudno jest zobaczyć, jak proces się zmienia od pomiaru do pomiaru.

Średnia procesu mniej więcej do 20 pomiaru oscylowała wokół założonej wartości (10), natomiast później uległa przesunięciu do wartości 11. Karta dla miernika 2 wskazała na rozregulowanie, natomiast punkty na karcie dla miernika 1 znajdują się daleko od linii kontrolnych.

Powyższa sytuacja pokazuje, że do odpowiednich zagadnień należy używać odpowiednich narzędzi. Jeżeli chcemy złowić kijankę, nie powinniśmy używać sieci na wieloryby.

Zmienność procesu a zmienność pomiarów – podejście standardowe

W poprzednim rozdziale rozważana była tylko rozdzielczość miernika przy założeniu, że jest on stabilny w czasie i że podane wartości są bardzo bliskie wartości rzeczywistej. Zazwyczaj nie jest tak dobrze. Mierniki często pracują w zmiennych warunkach lub pomiarów dokonują różne osoby, co powoduje, że proces pomiarowy wprowadza swoją własną zmienność do ostatecznego wyniku pomiaru. Zatem ta zmienność, którą możemy oszacować z danych, czy też którą widzimy na karcie kontrolnej, jest tak naprawdę sumą zmienności pochodzącej od procesu (maszyna, materiał, zmiana itp.) oraz zmienności pochodzącej od systemu pomiarowego (miernik, operator itp.). Można więc całkowitą zmienność rozbić na dwa czynniki: pomiarowy i procesowy.



Rys. 2. Składniki całkowitej zmienności: system pomiarowy i proces.

To, co tak naprawdę nas interesuje, to zmienność samego procesu. System pomiarowy, który składa się z ludzi, przyrządów i procedur, jest tylko środkiem do osiągnięcia celu, jakim jest poznanie zmienności procesu. To, do czego powinniśmy dążyć, to zminimalizowanie wpływu systemu pomiarowego na to, co ostatecznie będziemy widzieć w analizach. Wracając do słów Lorda Kelvina, żeby móc o czymś mówić, musimy dokonać pomiaru. W tym przypadku pomiarem będzie analiza powtarzalności i odtwarzalności pomiarów (R&R). Analiza ta składa się z 2 etapów: przeprowadzenia pomiarów oraz analizy ich wyników. Poniżej przedstawiony jest przykładowy plik danych analizy R&R.

Tabela 2. Dane zebrane podczas doświadczenia R&R. Źródło: opracowanie własne.

1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
OPERATOR	CZĘŚĆ	PRÓBA	POMIAR	OPERATOR	CZĘŚĆ	PRÓBA	POMIAR	OPERATOR	CZĘŚĆ	PRÓBA	POMIAR			
1	A	1	1	18	21	B	1	1	21	41	C	1	1	20
2	A	1	2	17	22	B	1	2	20	42	C	1	2	20
3	A	2	1	21	23	B	2	1	18	43	C	2	1	24
4	A	2	2	20	24	B	2	2	19	44	C	2	2	24
5	A	3	1	17	25	B	3	1	23	45	C	3	1	19
6	A	3	2	18	26	B	3	2	25	46	C	3	2	21
7	A	4	1	24	27	B	4	1	24	47	C	4	1	28
8	A	4	2	24	28	B	4	2	24	48	C	4	2	26
9	A	5	1	16	29	B	5	1	29	49	C	5	1	19
10	A	5	2	15	30	B	5	2	30	50	C	5	2	18
11	A	6	1	20	31	B	6	1	26	51	C	6	1	24
12	A	6	2	18	32	B	6	2	26	52	C	6	2	21
13	A	7	1	19	33	B	7	1	20	53	C	7	1	22
14	A	7	2	18	34	B	7	2	20	54	C	7	2	24
15	A	8	1	16	35	B	8	1	19	55	C	8	1	18
16	A	8	2	14	36	B	8	2	21	56	C	8	2	20
17	A	9	1	21	37	B	9	1	25	57	C	9	1	25
18	A	9	2	20	38	B	9	2	26	58	C	9	2	23
19	A	10	1	22	39	B	10	1	19	59	C	10	1	26
20	A	10	2	20	40	B	10	2	19	60	C	10	2	25

W przeprowadzonym doświadczeniu uczestniczyło 3 operatorów. Każdy z nich dokonywał pomiaru 10 produktów (części) i każdy z tych produktów był mierzony przez każdego z operatorów 2 razy. Celem tej analizy jest oszacowanie, jaki wkład do całkowitej zmienności mają:

- ♦ zmienność procesu, która jest reprezentowana przez różnice pomiędzy częściami,
- ♦ zmienność operatora, tak zwana powtarzalność (*repeatability*), która ujawnia się podczas pomiaru tej samej sztuki produktu (części) kilkakrotnie (tutaj 2) przez tego samego operatora,
- ♦ zmienność pomiędzy operatorami (*reproducibility*), która ujawnia się podczas pomiaru tych samych sztuk produktu przez kilku operatorów (tutaj 3).

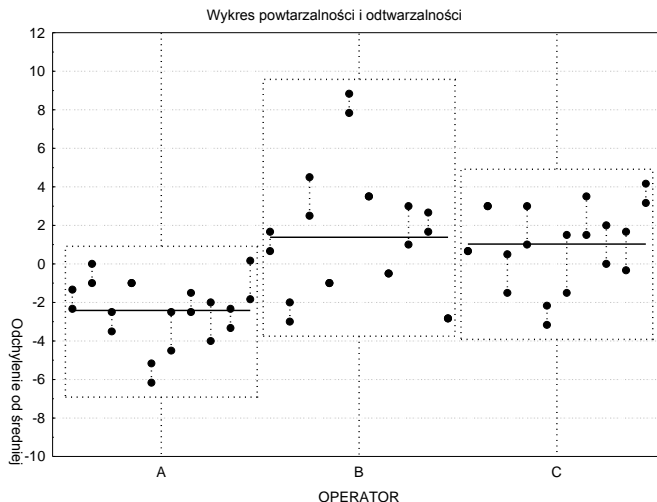
Zatem zmienność systemu pomiarowego może zostać rozbita na dwa czynniki: powtarzalność i odtwarzalność. Jest to o tyle ważne, że dostajemy informacje o tym, jak dokładnie mierzą poszczególni operatorzy i czy przypadkiem nie ma różnic w ich metodzie pomiaru, lub gdy używają innych mierników, czy wszystkie są odpowiednio dobrze skalibrowane.



Rys. 3. Źródła zmienności: powtarzalność, odtwarzalność, proces.

Warto jeszcze zwrócić uwagę na sposób wyboru sztuk produktu do doświadczenia. Wybrane elementy powinny reprezentować normalną zmienność procesu, co w szczególności oznacza, że nie powinny być one takie same.

Bez wnikania w szczegóły obliczeniowe analizy R&R, przyjrzyjmy się po prostu wynikom otrzymanym na podstawie danych z tabeli 2 w programie *STATISTICA Analiza Procesu*:



Rys. 4. Wykres powtarzalności i odtwarzalności dla operatorów A, B, C.

Na rysunku 4 co prawda nie mamy żadnych wartości liczbowych, ale możemy popatrzeć na zmienność naszego systemu pomiarowego w sposób ogólny, podobnie jak patrzymy na przebieg procesu na karcie kontrolnej. Widzimy, że operator A ma niższą średnią niż pozostałych dwóch operatorów, co może być spowodowane trochę inną metodą pomiaru stosowaną przez tego operatora. O ile operatorzy A i C charakteryzują się podobną zmiennością, to zmienność operatora B jest większa, co może być spowodowane jego niedbałością, brakiem predyspozycji (np. słaby wzrok) lub gorszą jakością miernika, którego używa.

Zobaczmy teraz, jakie są udziały poszczególnych czynników zmienności wyrażone w sposób liczbowy.

Tabela 3. Wyniki analizy R&R dla danych z tabeli 2 otrzymane w *STATISTICA*.

Źródło (Sigma=Rsr./d2)	Składniki wariancji; zmienna: POMIAR Śred=21.3167 Rsr.=7.000007 R(xsr)= Operatorzy:3 Części: 10 Próby: 2				Źródło (Sigma=Rsr./d2)	Analiza proc. tolerancji: POMIAR Śred=21.3167 Rsr.=7.000007 Operatorzy:3 Części: 10 Próby: 2		
	Estymow. Sigma	Estymow. Wariancj	% R & R	% Ogół		Pomiar Jednost.	% Proc. Zmienn.	% ogółu Udział
Powtarzalność	1.032448	1.065950	21.4439	10.8589	Powtarzalność (zm. mierników)	5.31711	32.9528	10.8589
Odtwarzalność	1.976009	3.904927	78.5561	39.7796	Odtwarzalność (zm. operatorów)	10.17686	63.0711	39.7796
Część-Część	2.201258	4.845636		49.3616	Zmien. części	11.33648	70.2578	49.3616
Łącznie R&R	2.229546	4.970877	100.0000	50.6384	Łącznie R&R	11.48216	71.1607	50.6384
Ogół	3.133116	9.816413		100.0000	Łączna zmienność procesu	16.13555	100.0000	100.0000
					Tolerancja	1.00000		

Podstawowa informacja, która nas interesuje, znajduje się w kolumnie *Estymowane Sigma*. Znajdują się tam wartości sigma dla poszczególnych składników zmienności. Aby można było uznać system pomiarowy za zdalny do dokonywania pomiarów, które następnie będą wykorzystywane do monitorowania procesu na karcie kontrolnej, wartości sigmy dla powtarzalności oraz odtwarzalności powinny być odpowiednio mniejsze od sigmy procesu



(Część-Część). Przyjmuje się, że dobry system pomiarowy powinien mieć zmienność mniejszą niż 10% całkowitej zmienności. W tabeli 3 powinniśmy patrzeć na wartość Łączne R&R w kolumnie % ogółu Udział. Wynika z niej, że wskaźnik ten (nazywany wskaźnikiem %R&R) jest na poziomie 50%, co dyskwalifikuje ten system pomiarowy dla tego konkretnego procesu. Z pewnością można poprawić jakość systemu pomiarowego, jeżeli zostanie poprawiona odtwarzalność, która ma tutaj istotny wpływ (operator A). Wymiana lub przeszkolenie operatora być może pozwoli poprawić powtarzalność i w sumie może się okazać, że system pomiarowy jest odpowiedni, ale do tej pory był zaniedbywany.

Powyższe analizy są bardzo istotne dla poprawnego funkcjonowania całego systemu jakości. Dopuszczenie do zbyt dużej zmienności systemu pomiarowego w stosunku do zmienności procesu może spowodować, że analizy przeprowadzane w oparciu o tak zebrane dane będą mało wiarygodne i co gorsza mogą prowadzić do błędnych wniosków.

MSA dla saperów

W poprzednim rozdziale opisana była metoda rozdzielania składników zmienności, którą obserwujemy na karcie kontrolnej. Metoda ta zakłada, że zmienność miernika szacowana jest przez wielokrotne dokonywanie pomiarów tej samej części. Jednak co robić w przypadku, gdy pomiar jest niszczący i można wykonać go tylko raz? Nie można wtedy ocenić zmienności systemu pomiarowego w tradycyjny sposób. W takim przypadku możemy wykorzystać odpowiednią kartę kontrolną, która pozwoli oszacować i rozdzielić zmienności pochodzące od procesu i od systemu pomiarowego, która w tym przypadku będzie połączoną zmiennością pochodzącą od operatora i miernika.

W metodzie opartej na karcie kontrolnej musimy założyć, że produkty wytwarzane są w seriach albo że zmienność procesu produkcyjnego nie zmienia się szybko w czasie. Z czego wynika, że jeżeli pobierzemy z linii produkcyjnej dwa produkty otrzymane jeden po drugim, to możemy przyjąć, że różnica zmierzonych wartości wynika głównie ze zmienności systemu pomiarowego, gdyż zmienność pomiędzy sąsiadującymi produktami pochodząca od procesu powinna być znikoma.

Załóżmy zatem, że z linii produkcyjnej, na której produkowana jest woda mineralna pobrano 7 próbek po 2 butelki, przy czym do każdej próbki pobrano butelki, które sąsiadowały ze sobą na linii (zostały wyprodukowane prawie w tym samym czasie). Poniżej w tabeli 4 znajdują się przykładowe dane dla jednego z parametrów.

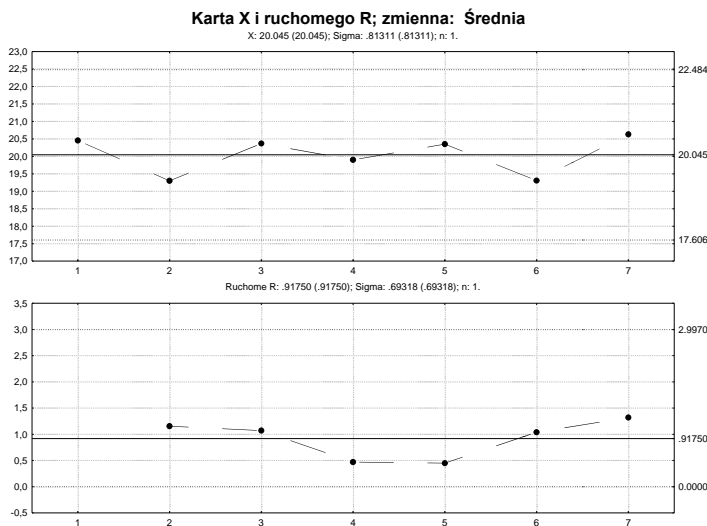
To, co chcemy oszacować, to zmienność wynikająca z różnic pomiędzy wartością pomiarów w obrębie jednej próbki. Zmienność tę można oszacować, na przykład używając metody rozstępów. Obliczamy rozstęp dla każdej z próbek, a następnie obliczamy średnią dla 7 rozstępów, która wynosi 0,0614. Uzyskujemy w ten sposób jakieś oszacowanie zmienności systemu pomiarowego. Oszacowanie to jednak jest obciążone błędem zależnym od liczności próbki, w oparciu o którą został policzony rozstęp. Zatem aby dokładnie oszacować sigmę systemu pomiarowego, musimy skorygować (podzielić) uzyskaną wartość średniego rozstępu przez 1,128. Odpowiednie wartości są zamieszczone

w normach. W wyniku korekty dostajemy ostateczną wartość sigmy pochodzącej od procesu pomiarowego; wynosi ona 0,054. Taką samą wartość moglibyśmy uzyskać w *STATISTICA*, tworząc kartę kontrolną rozstępów dla próbki dwuelementowej.

Tabela 4. Dane dla jednego z parametrów w butelkach. Źródło: [4]

Dane: Saper (5 zm. * 8 prz.)					
	1	2	3	4	5
	Nr	But_1	But_2	Rozstęp	Średnia
1	1	20.48	20.43	0.05	20.455
2	2	19.37	19.23	0.14	19.3
3	3	20.35	20.39	0.04	20.37
4	4	19.87	19.93	0.06	19.9
5	5	20.36	20.34	0.02	20.35
6	6	19.32	19.3	0.02	19.31
7	7	20.58	20.68	0.1	20.63
ŚREDNIA przyp. 1-7				0.061429	

Teraz oszacujemy zmienność procesu. Przyjmujemy, że wartość średnia z dwóch pomiarów w obrębie próbki jest dobrym przybliżeniem aktualnej wartości parametru generowanego przez proces w chwili poboru próbki. Zatem wartość sigmy uzyskana po utworzeniu karty kontrolnej pojedynczych obserwacji (dla średnich z próbki) i ruchomego rozstępu jest przybliżeniem zmienności procesu.



Rys. 5. Wartość sigmy procesu oszacowana przy użyciu karty kontrolnej.

Na rys. 5 widzimy, że oszacowana sigma procesu wynosi 0,81, czyli wskaźnik %R&R jest równy 6,66%. Interpretacja wskaźnika jest taka sama jak poprzednio – system pomiarowy może być z powodzeniem używany dla tego procesu produkcyjnego.



Podsumowanie

Tak jak to starano się przedstawić w powyższych rozdziałach, oszacowanie jakości stosowanych systemów pomiarowych nie jest trudne, a może przynieść wiele korzyści. Przytoczone w artykule przykłady pokazują zastosowanie metod statystycznych do standardowych metod pomiarowych. Czasami zdarza się, że metody pomiarowe są niejednoznaczne i analitycy mają problemy z opracowaniem odpowiedniej metody pozwalającej na ocenę ich jakości. Zazwyczaj da się jednak znaleźć rozsądne podejście i przygotować odpowiednie doświadczenie, które pozwoli tę wiedzę uzyskać.

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.
4. Forrest W. Breyfogle III, „Implementing Six Sigma, Smarter Solutions Using Statistical Methods”, John Wiley & Sons, Inc., 1999.