

Mariusz BOŻEK¹
Michał ROGALEWICZ²

NIESKUTECZNOŚĆ KONTROLI KOŃCOWEJ PRZYCZYNĄ NISKIEJ EFEKTYWNOŚCI PROCESU WYTWARZANIA

Artykuł podejmuje problem wpływu niewłaściwie zaplanowanej kontroli jakości na efektywność procesu wytwarzania. Na przykładzie wybranego narzędzia chirurgicznego opisano i wyznaczono wartości wybranych wskaźników skuteczności i efektywności jakościowej procesu oraz skuteczności procesu kontroli. Pokazano, że w niektórych przypadkach umiejscowienie kontroli w końcowym etapie procesu produkcji może prowadzić do drastycznego obniżenia efektywności procesu.

1. WPROWADZENIE

Kontroli nie zalicza się do procesów podstawowych. Jest ona traktowana jako proces pomocniczy, ale często o kluczowym znaczeniu dla procesów podstawowych, zwłaszcza procesu wytwarzania. Kontrola powinna być elementem statystycznego sterowania procesem (SPC – ang. *Statistical Process Control*). Jej wyniki przedstawiane na kartach kontrolnych są podstawą do analizowania stabilności statystycznej procesu. Jeśli zdolność jakościowa procesu jest odpowiednio wysoka, proces w zasadzie nie powinien produkować wyrobów niezgodnych.

W praktyce kontrola przyjmuje częściej postać kontroli odbiorczej. W ujęciu procesowym jej zadaniem jest „pilnowanie”, aby odrzucane były niezgodne jednostki na wejściu (tzw. kontrola wejściowa) oraz na wyjściu (kontrola wyjściowa) procesu. Oznacza to, że z góry zakłada się możliwość wystąpienia w procesie jednostek niezgodnych.

Przy założeniu, że kontrola odbiorcza jest w pełni skuteczna, wszystkie jednostki niezgodne są odpowiednio wcześniej eliminowane, a to pozwala uniknąć marnotrawstwa, polegającego na wprowadzaniu do procesu produkcji lub pozostawianiu w procesie produkcji, jednostek o zerowej, a właściwie ujemnej wartości. W przypadku, gdy kontrola nie jest skuteczna, zasadność jej stosowania staje się wątpliwa. Co więcej, nieskuteczność kontroli może wpłynąć negatywnie na efektywność procesu wytwarzania, szczególnie, jeśli kontrola jest ostatnią operacją.

¹ Aesculap Chifa Sp. z o. o., mariusz.bozek@bbraun.com

² Katedra Zarządzania i Inżynierii Produkcji, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania, Politechnika Poznańska

1.1. SKUTECZNOŚĆ I EFEKTYWNOŚĆ JAKOŚCIOWA PROCESU

Zarówno dla procesu wytwarzania jak i procesu kontroli definiuje się różne miary skuteczności i efektywności [10],[13],[18]. Można je odnosić do kosztów, do czasu, jakości lub innych wielkości. Ponieważ przedmiotem niniejszego artykułu są aspekty jakościowe, jako proces jakościowo skuteczny będzie rozumiany proces, który pozwala na realizację określonych celów jakościowych. Jeśli celem postawionym przed procesem jest produkcja bez braków, to proces w pełni skuteczny to taki, który pozwala ten cel uzyskać, nawet jeśli jest to związane z koniecznością poprawiania źle wykonanych za pierwszym razem jednostek. Jeśli skuteczność jakościowa procesu wynosi np. 90% to znaczy, że 10% jednostek zostało zakwalifikowanych jako braki nienaprawialne lub naprawialne.

Jedną z najprostszych, a jednocześnie najczęściej stosowanych miar skuteczności jakościowej procesu produkcji jest wskaźnik FTY (ang. *First Time Yield*), który określa, jaka część wyrobów została wytworzona poprawnie za pierwszym razem [11],[12]. Będzie on w dalszej części artykułu nazywany wskaźnikiem pierwotnej skuteczności jakościowej procesu:

$$FTY_{\text{wytw}} = LPP/LW \quad (1)$$

gdzie:

LPP – liczba wyrobów wykonanych poprawnie za pierwszym razem,

LW – liczba wyrobów na wejściu procesu.

Można też zdefiniować wskaźnik ostatecznej skuteczności jakościowej procesu UTY (*Ultimate Time Yield*):

$$UTY_{\text{wytw}} = LP/LW \quad (2)$$

gdzie:

LP – liczba wyrobów wykonanych poprawnie (w tym braków po skutecznej poprawie),

LW – jak wyżej.

W procesie w pełni skutecznym, wskaźnik UTY przyjmuje wartość 1. Wartość mniejsza wskazuje, że część wyrobów została zakwalifikowana jako brak nienaprawialny.

Efektywność jakościowa procesu odnoszona będzie do nakładów pracy potrzebnych do uzyskania ostatecznej skuteczności jakościowej procesu. A zatem efektywność jakościowa równa 100% oznacza, że wszystkie jednostki zostały za pierwszym razem wykonane prawidłowo. Każdy brak naprawialny lub nienaprawialny zmniejsza efektywność procesu. Efektywność jakościową procesu QPE_{wytw} (ang. *Quality Process Efficiency*) w świetle takiej definicji, można zapisać formułą:

$$QPE_{\text{wytw}} = LP/(LW+LBN) \quad (3)$$

gdzie:

LP, LW – jak wyżej,

LBN – liczba braków po skutecznej poprawie.

Wskaźnik skuteczności można zdefiniować także dla procesu kontroli. Wystarczy zamienić we wzorze cel „dobre jednostki” na cel „prawidłowo ocenione jednostki wyrobu”. Prawidłowa ocena oznacza ocenę zgodną ze stanem faktycznym:

$$FTY_{kontr} = LOP/LO \quad (4)$$

gdzie:

LOP – liczba wyrobów ocenionych poprawnie za pierwszym razem,

LO – liczba wyrobów ocenianych.

Przyczyny niezyskiwania w procesie produkcji maksymalnej wartości wskaźników FTY_{wytw} oraz QPE_{wytw} są różnorodne. Generalnie można je podzielić na dwie grupy:

a) pierwotne – związane z niedoskonałością samego procesu wytwarzania (kształtowania i obróbki części oraz ich montażu). Wynikiem tych niedoskonałości jest powstawanie niezgodności i braków,

b) wtórne – związane z niedoskonałością procesu kontroli, przejawiającą się niewłaściwą oceną jakości wyrobów finalnych, bądź wyrobów w toku produkcji, polegającą na kwalifikowaniu wyrobów zgodnych jako braki i odwrotnie.

Przyczyny pierwotne są dobrze poznane i opisane w literaturze. Wiązą się z czynnikami wnoszonymi przez człowieka, maszyny, technologię, organizację produkcji, środowisko pracy, itp. Są one szeroko opisane w literaturze przedmiotu [10],[13]. Z wymienionych grup czynników, duże znaczenie ma stosowana w procesie wytwarzania technologia, a zwłaszcza to, jaka część operacji wpływających bezpośrednio na kształtowanie wyrobu jest wykonywana maszynowo (człowiek jedynie obsługuje maszynę), a jaka przez człowieka (człowiek kształtuje bezpośrednio wyrób lub jego niektóre właściwości). Rozróżnienie to jest istotne, ponieważ w operacjach wykonywanych przez człowieka, jego umiejętności i koncentracja mają decydujący wpływ na jakość wykonania. Powtarzalność wyników jest w nich z natury rzeczy niższa niż w przypadku operacji wykonywanych maszynowo. Należy podkreślić, że mimo powszechnej dziś mechanizacji i automatyzacji procesów produkcji, w wielu dziedzinach operacje ręczne są ciągle stosowane, i to zarówno ze względów ekonomicznych jak i technicznych. Przykładem mogą być procesy formowania niektórych wyrobów ceramicznych, procesy produkcji odzieży oraz produkcja narzędzi chirurgicznych.

Przyczyny wtórne, związane z niedoskonałością procesu kontroli jeszcze kilkadziesiąt lat temu były przez świat nauki w ogóle niezauważane. Większe zainteresowanie tą tematyką nastąpiło w latach 90 XX wieku i było następstwem kilku tragicznych w skutkach katastrof lotniczych w końcówce lat 80 XX wieku. Ich bezpośrednia przyczyna to błędy związane z oceną wzrokową stanu technicznego samolotów [16]. Wymienia się tutaj czynniki związane z rodzajem kontroli, przydatnością systemu pomiarowego, w tym z przygotowaniem i predyspozycjami człowieka. Wśród wymienionych czynników uwagę należy poświęcić przede wszystkim sposobowi kontroli, a dokładniej, czy jest to kontrola opierająca się na metodzie organoleptycznej, bazującej na zmysłach, np. wzroku, słuchu, zapachu itp., czy też na metodzie pomiarowej, korzystającej ze specjalistycznego sprzętu pomiarowego.

Metody organoleptyczne są szybkie i zazwyczaj tanie, nie wymagają kosztownego sprzętu kontrolno-pomiarowego, a także nieniszczące, gdyż nie prowadzą do zużycia ocenianego obiektu. Najczęściej stosowanym rodzajem kontroli organoleptycznej jest kontrola wzrokowa. Ponieważ przy jej zastosowaniu najczęściej nie można precyzyjnie ocenić stanu wyrobu, jest ona kontrolą z oceną alternatywną, dalej nazywana jest krótko kontrolą alternatywną, tzn. przypisującą wyrobowi lub danej właściwości wyrobu dwa

wykluczające się stany: „zgodny z wymaganiami” lub „niezgodny z wymaganiami”. Stany te są w praktyce nazywane krótko, np.: ”zgodny” i „niezgodny”, „dobry” i „zły” lub w inny, odpowiedni sposób. Ważną zaletą kontroli wzrokowej jest możliwość szybkiej oceny kilku właściwości jednocześnie. Jest to jedna z przyczyn jej szerokiego stosowania w praktyce. Mimo że automatyczne systemy kontrolne są coraz doskonalsze i znajdują szersze niż w przeszłości zastosowanie, posiadają wiele ograniczeń związanych z kosztami wdrożenia, trudnością w programowaniu i dużą wrażliwością na zwykłe odchylenia występujące w produkcji. Z powyższych względów nadal w bardzo wielu przypadkach kontroli wzrokowej nie da się zastąpić żadną inną [2].

Kontrola wzrokowa ma też swoje słabe strony. Po pierwsze, jest obciążona czynnikiem ludzkim, który bywa z natury zawodny. Kontrolerzy popełniają błędy, a ich niedoskonałość jest inherentną częścią procesu kontroli wzrokowej. Poziom tego błędu może być za pomocą odpowiednich działań redukowany, ale nie może być w 100% wyeliminowany [3]. Po drugie, kontrola wzrokowa nie informuje o stopniu spełnienia lub niespełnienia wymagań w stosunku do kontrolowanej właściwości - pozwala jedynie na podjęcie decyzji, czy badany element należy zakwalifikować jako „dobry”, czy też jako „zły”. Jej słabością jest również to, że jeśli wzorzec atrybutu jest trudny do jednoznacznego zdefiniowania, a w przypadku kontroli wzrokowej jest to sytuacja występująca stosunkowo często, podejmowane decyzje cechują się dużym subiektywizmem w przeciwieństwie do skwantyfikowanego, „wymiarowego” charakteru kontroli liczbowej [6]. Na stopień subiektywizmu wpływa wiele czynników. Są to np.: przygotowanie zawodowe przeprowadzającego kontrolę [14],[15], jego predyspozycje do wykonywania zawodu, umiejętność interpretowania i wyciągania wniosków [4], spostrzegawczość, reaktywność, zdolność koncentracji [5],[8], osobowość [20], stopień odpowiedzialności za wykonaną kontrolę, presja wywierana przez różne czynniki zewnętrzne [17],[21] system szkoleń [9],[7], czy poziom motywacji [1],[19].

Kontrola wzrokowa najczęściej dotyczy właściwości (cech), które ze swojej natury mają charakter atrybutu dwuwartościowego (dychotomicznego), tzn. właściwości, która występuje, bądź nie występuje. Przykładem właściwości o takim charakterze jest np. uszkodzenie – pojawia się ono lub nie. Jako atrybut może być także traktowana cecha mierzalna np. długość, której ze względów praktycznych przypisuje się tylko dwa stany „zgodny” lub „niezgodny”, np. mieści się w polu tolerancji lub nie mieści.

2. PROBLEM BADAWCZY

W poprzednim rozdziale postawiono tezę, że nieskuteczny proces kontroli wpływa negatywnie na efektywność procesu wytwarzania. Problemem badawczym jest zweryfikowanie tej tezy na wybranym procesie.

Poniżej przedstawiono model rozpatrywanego procesu produkcji. Proces wytwarzania jest w nim sprowadzony do jednej, zagregowanej operacji. Jednostki (gotowe wyroby, części) wykonane w wyniku realizacji procesu są poddawane kontroli końcowej. Kontroli podlega pewna liczba wskazanych cech jakościowych np. wymiar, chropowatość, wygląd,

uszkodzenia, itp. Jeśli choć jedna cecha nie spełnia wymagań, jednostka wyrobu jest kwalifikowana jako „zła”.

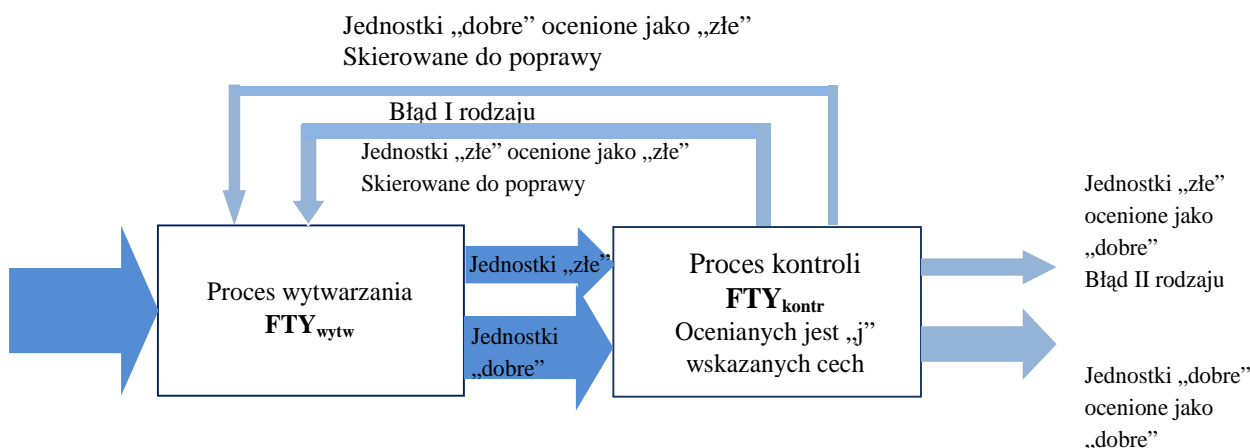
Pomyłki popełniane podczas procesu kontroli można podzielić na tzw. błędy I rodzaju lub II rodzaju (rys. 1).

Błąd I rodzaju oznacza:

- w odniesieniu do stanu cechy - uznanie stanu cechy spełniającego wymagania za niespełniający wymagań,
- w odniesieniu do jednostki wyrobu - zakwalifikowanie wyrobu „dobrego” jako „zły”.

Błąd II rodzaju oznacza:

- w odniesieniu do stanu cechy - uznanie stanu cechy niespełniającego wymagań za spełniający wymagania,
- w odniesieniu do jednostki wyrobu - zakwalifikowanie wyrobu „złego” jako „dobry”.



Rys. 1. Schemat procesu produkcji oraz błędy I i II rodzaju
Fig. 1. Diagram of production process and I and II type errors

Dla zwartości i spójności zapisu wprowadzanych dalej zależności, przyjęto następujące oznaczenia:

- w_i : i-ta jednostka wyrobu (krótka: jednostka); $i = 1, \dots, N$,
- c_j : j-ta cecha; $j = 1, \dots, K$,
- c_{ij} : j-ta cecha w i-tej jednostce,
- f_{cij} : faktyczny stan j-tej cechy i-tej jednostki,
- k_{cij} : ocena przez kontrolera j-tej cechy i-tej jednostki.

$$f_{cij} \text{ lub } k_{cij} \begin{cases} = 1: \text{ stan cechy „zgodny”}: f_{cij}(1) \text{ lub ocena stanu cechy „zgodna”}: \\ = 0: \text{ stan cechy „niezgodny”}: f_{cij}(0) \text{ lub ocena stanu} \\ \text{cechy „niezgodna”}: k_{cij}(0) \\ k_{cij}(1) \end{cases}$$

f_{wi} - faktyczny stan i -tej jednostki wyrobu wynikający z faktycznego stanu cech
 k_{wi} - ocena i -tej jednostki wyrobu wynikająca z oceny stanu cech przez kontrolera

$$f_{wij} \text{ lub } k_{wij} \begin{cases} = 1: \text{jednostka „dobra” } f_{wij}(1) \text{ lub } k_{wi}(1) \\ = 0: \text{jednostka „zła” } f_{wij}(0) \text{ lub } k_{wi}(0) \end{cases}$$

przy czym:

$$f_{wi} = \&\& f_{cij}$$

$$k_{wi} = \&\& k_{cij}$$

gdzie „&&” jest operatorem logicznym „AND”. Oznacza to, że jednostka wyrobu uzyskuje „ocenę = 1” wtedy i tylko wtedy, gdy każda z cech spełnia wymagania. Brak choćby jednej zgodności w zbiorze atrybutów sprawia, że ocena jednostki wyrobu przyjmuje wartość zero.

Jeżeli założyć, że wystąpienie niezgodnego stanu cechy jest niezależne od stanu innych cech i że podobne założenie jest dopuszczalne dla jednostek wyrobów, słuszna jest zależność:

$$P(f_{wi} = 1) = P(f_{ci1}=1) \times P(f_{ci2}=1) \times \dots \times P(f_{ciK}=1)$$

$$P(k_{wi} = 1) = P(k_{ci1}=1) \times P(k_{ci2}=1) \times \dots \times P(k_{ciK}=1)$$

Oznacza to, że skuteczność jakościowa odniesiona do jednostek wyrobów jest zawsze nie większa od skuteczności odniesionej do każdej z cech oddzielnie. Stąd wypływa ważny wniosek praktyczny, że aby zmniejszyć ryzyko „odrzućcia” wyrobów w kontroli końcowej, tylko na podstawie negatywnej oceny jednej z wielu cech, tam gdzie to możliwe należy prowadzić kontrolę cech jak najbliżej miejsca ich kształtowania (formowania) i ewentualne naprawy dokonywać bezpośrednio po ich ujawnieniu. Zachodzi tutaj podobieństwo do znanej z koncepcji Lean Manufacturing zasady unikania zapasów w toku produkcji. Powodują one, że wykrycie błędu ze zwłoką czasową, prowadzi do powstawania niepotrzebnych kosztów związanych z koniecznością cofania części do operacji poprzednich. Zapasem w toku są w tym przypadku nieskontrolowane ostatecznie jednostki.

W celu przeprowadzenia pogłębionej oceny skuteczności i efektywności procesów wytwarzania i kontroli, konieczne jest zdefiniowanie relacji wynikających ze zgodności bądź niezgodności ocen kontrolera. Przyjęto następujące oznaczenia:

f_{cij} = relacja stanu faktycznego i oceny przez kontrolera j -tej cechy w i -tej jednostce wyrobu

k_{wi} = relacja stanu faktycznego i oceny przez kontrolera i -tej jednostki

Jednostki wyrobów lub cechy jednostek z takimi samymi ocenami lub z taką samą relacją stanu faktycznego i oceny z kontroli tworzą jednorodne grupy (strumienie). Zmienne F i K są jednocześnie oznaczeniem liczebności, przy czym górny indeks „ w ” odnosi się do jednostek wyrobu a indeks „ cj ” do j -tej cechy.

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} = 1,1 \rightarrow \text{stan faktyczny (1) i ocena kontrolera (1), w skrócie } fk_{cij}(11) \text{ lub } fk_{wi}(11) \\ = 1,0 \rightarrow \text{stan faktyczny (1) i ocena kontrolera (0), w skrócie } fk_{cij}(10) \text{ lub } fk_{wi}(10) \\ = 0,1 \rightarrow \text{stan faktyczny (0) i ocena kontrolera (1), w skrócie } fk_{cij}(01) \text{ lub } fk_{wi}(01) \\ = 0,0 \rightarrow \text{stan faktyczny (0) i ocena kontrolera (0), w skrócie } fk_{cij}(00) \text{ lub } fk_{wi}(00) \end{array}$$

Zmienne FK(11), FK(10), FK(01) i FK(00) składają się na cztery możliwe kombinacje oceny przez kontrolera strumieni F i K. Zmienne te, podobnie jak F i K, są także strumieniami. Co więcej, ich kombinacje są podstawą do zdefiniowania wielu innych strumieni, za pomocą których wyznacza się wprowadzone w tym artykule wskaźniki skuteczności i efektywności procesów wytwarzania i kontroli.

W celu wyznaczenia wskaźników UTY_{wytw} oraz QPE_{wytw} niezbędne jest wprowadzenie pojęcia jednostki skutecznie naprawionej. Jednostka skutecznie naprawiona to taka, która bez względu na stan faktyczny pierwotnie została przez kontrolę jakości oceniona jako „zła”, a po dodatkowym nakładzie pracy usuwającym stwierdzone wady została przez kontrolę jakości zakwalifikowana jako „dobra”, bez względu na stan faktyczny. Poniżej przedstawiono za pomocą symboli „transformację” wyrobów zakwalifikowanych jako „złe” w zakwalifikowane jako „dobre” po naprawie.

$$FK(0,0) \rightarrow FK(1,1)^{napr}$$

$$FK(1,0) \rightarrow FK(1,1)^{napr}$$

Wykorzystując licznosci grup jednorodnych można utworzyć wskaźniki, które mogą być wykorzystane do oceny i analizy skuteczności oraz efektywności procesu wytwarzania oraz procesu kontroli. Zakłada się przy tym, że wszystkie jednostki niezgodne, i zgodne zakwalifikowane jako niezgodne i cofnięte z powrotem do procesu wytwarzania, po ponownej obróbce lub ponownym montażu stają się jednostkami zgodnymi i że zostają dobrze rozpoznane.

Na podstawie ocen całych jednostek wyrobu zdefiniowano następujące wskaźniki:

1. wskaźnik pierwotnej skuteczności jakościowej procesu wytwarzania:

$$FTY_{wytw}^w = F^w(1)/N$$

2. wskaźnik ostatecznej skuteczności jakościowej procesu wytwarzania:

$$UTY_{wytw}^w = (N - FK^w(01))/N$$

3. wskaźnik skuteczności procesu kontroli:

$$FTY_{\text{kontr}}^w = [FK^w(11) + FK^w(00)]/N$$

4. wskaźnik efektywności procesu wytwarzania:

$$QPE_{\text{wytw}}^w = [N - FK^w(01)] / [N + FK^w(10) + FK^w(00)]$$

5. frakcja jednostek z warunkowym błędem oceny I rodzaju:

$$\text{Błąd I} = FK^w(10) / F^w(1)$$

6. frakcja jednostek z warunkowym błędem oceny II rodzaju:

$$\text{Błąd II} = FK^w(01) / F^w(0)$$

Analogiczne wskaźniki wyznaczone na podstawie pojedynczych cech są oznaczone indeksem „cj”.

3. BADANIA WERYFIKACYJNE

Weryfikacji postawionej tezy, która mówi, że nieskuteczny proces kontroli wpływa negatywnie na efektywność procesu wytwarzania, dokonano w procesie produkcji narzędzi chirurgicznych. Narzędziom chirurgicznym, ze względu na przeznaczenie, stawiane są bardzo wysokie wymagania jakościowe, dlatego liczba cech ocenianych w kontroli jakości jest stosunkowo duża.

Ponieważ narzędzia chirurgiczne muszą być w jak największym stopniu dostosowane do sprawnego i niezawodnego wykonania przez chirurga określonej czynności, ich kształty są pochodną anatomii człowieka oraz ilości różnorodnych technik operacyjnych. Przy wieloasortymentowej i małoseryjnej produkcji (w chirurgii używa się około 10000 różnych typów narzędzi chirurgicznych) wykonywanie narzędzi za pomocą zrobotyzowanych linii produkcyjnych jest na ogół nieopłacalne. Dlatego, mimo stosowania do produkcji narzędzi medycznych maszyn sterowanych numerycznie, wiele operacji technologicznych jest wykonywanych ręcznie przez odpowiednio wykwalifikowanych operatorów.

Znaczny udział pracy ręcznej w fazie montażu implikuje z jednej strony wysokie prawdopodobieństwo powstania w tej fazie niezgodności, a z drugiej strony duże możliwości ich usunięcia kosztem dodatkowego nakładu pracy.

Cechą charakterystyczną procesu produkcji narzędzi chirurgicznych jest trudność w zidentyfikowaniu wszystkich niezgodności we wcześniejszych etapach procesu. Zazwyczaj są wykrywane dopiero podczas kontroli końcowej. Usuwanie stwierdzanych w ostatecznej kontroli niezgodności wiąże się z powtórzeniem pewnej sekwencji operacji technologicznych, nawet jeśli niezgodność nie jest efektem nieprawidłowego wykonania wszystkich operacji występujących w sekwencji.

Obliczenia zdefiniowanych we wcześniejszej części publikacji wskaźników dokonano na przykładzie wybranego narzędzia chirurgicznego (tabela 1). Wymagania dla jego kontroli zostały określone dla $K=7$ obszarów i funkcji narzędzia. Przypisane im atrybuty mają charakter złożony – można je nazwać atrybutami zagregowanymi (patrz tabela 1).

Tabela 1. Wyniki obliczeń zdefiniowanych wcześniej wskaźników dla wybranego narzędzia
Table 1. Results of indices computation for chosen tool

Cecha																	
j	Nazwa elementu narzędzia	$F^{cj}(1)$	$F^{cj}(0)$	$K^{cj}(1)$	$K^{cj}(0)$	$FK^{cj}(11)$	$FK^{cj}(00)$	$FK^{cj}(10)$	$FK^{cj}(01)$	$FK^{cj}(10)^{napr}$	$FK^{cj}(00)^{napr}$	FTY^{cj}_{wytw}	UTY^{cj}_{wytw}	FTY^{cj}_{kont}	QPE^{cj}_{wytw}	Bład I ^{cj}	Bład II ^{cj}
1	Zęby	282	6	154	134	154	6	128	0	128	6	0,98	1,00	0,56	0,68	0,45	0,00
2	Ramiona	222	66	244	44	196	18	26	48	26	18	0,77	0,83	0,74	0,72	0,12	0,73
3	Złącza	276	12	244	44	240	8	36	4	36	8	0,96	0,99	0,86	0,86	0,13	0,33
4	Zapadka	282	6	248	40	243	1	39	5	39	1	0,98	0,98	0,85	0,86	0,14	0,83
5	Ucho	246	42	197	91	180	25	66	17	66	25	0,85	0,94	0,71	0,72	0,27	0,40
6	Śruba	288	0	249	39	249	0	39	0	39	0	1,00	1,00	0,86	0,88	0,14	0,10
7	Spasowanie	246	42	284	4	246	4	0	38	0	4	0,85	0,87	0,87	0,86	0,00	0,90
Suma cech/średnia		1948	174	1620	396	1508	62	334	112	334	62	0,91	0,94	0,78	0,79	0,18	0,64
		$F^w(1)$	$F^w(0)$	$K^w(1)$	$K^w(0)$	$FK^w(11)$	$FK^w(00)$	$FK^w(10)$	$FK^w(01)$	$FK^w(10)^{napr}$	$FK^w(00)^{napr}$	FTY^w_{wytw}	UTY^w_{wytw}	FTY^w_{kont}	QPE^w_{wytw}	Bład I ^w	Bład II ^w
	Jednostki wyrobu	162	126	65	223	47	108	115	18	115	108	0,56	0,94	0,54	0,53	0,71	0,14

Uzyskane wyniki pozwalają na określenie podstawowych zależności zachodzących pomiędzy analizowanymi wskaźnikami:

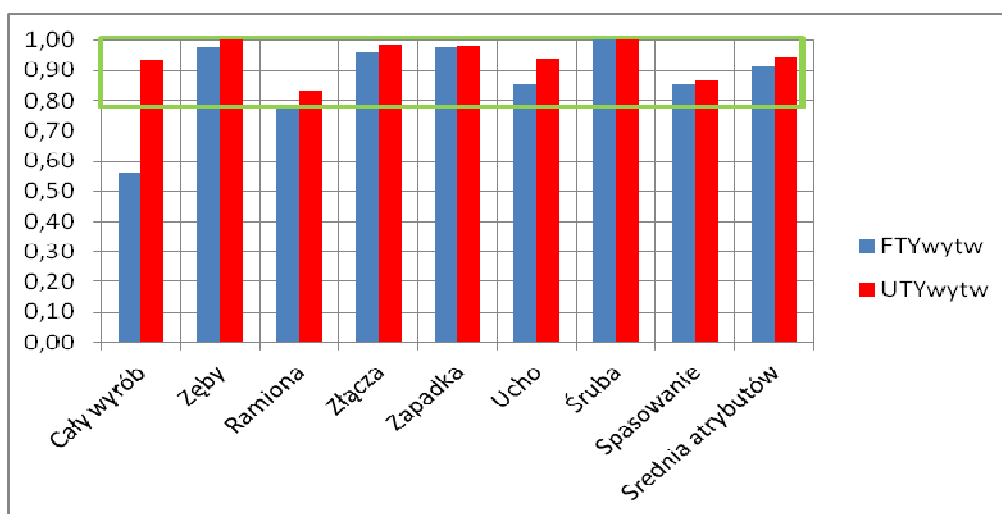
1. Skuteczność procesu wytwarzania, mierzona wskaźnikiem FTY^w_{wytw} ma wartość 0,56. Zdecydowanie wyższą skuteczność proces wytwarzania wykazuje w odniesieniu do każdego atrybutu oddzielnie (rys. 2). Wskaźnik FTY^{cj}_{wytw} przyjmuje najniższą wartość dla obszaru ramion ($FTY^{c5}_{wytw} = 0,77$). Dla niektórych atrybutów wskaźniki mają wartość bliską, a nawet równą 1 (np. dla śruby).

Należy zwrócić uwagę na fakt, że przy relatywnie wysokiej wartości średniej FTY^{cj}_{wytw} (z 7 cech) równej 0,91, pierwotna skuteczność jakościowa procesu wytwarzania dla wyrobu przyjmuje bardzo niską wartość ($FTY^w_{wytw} = 0,56$).

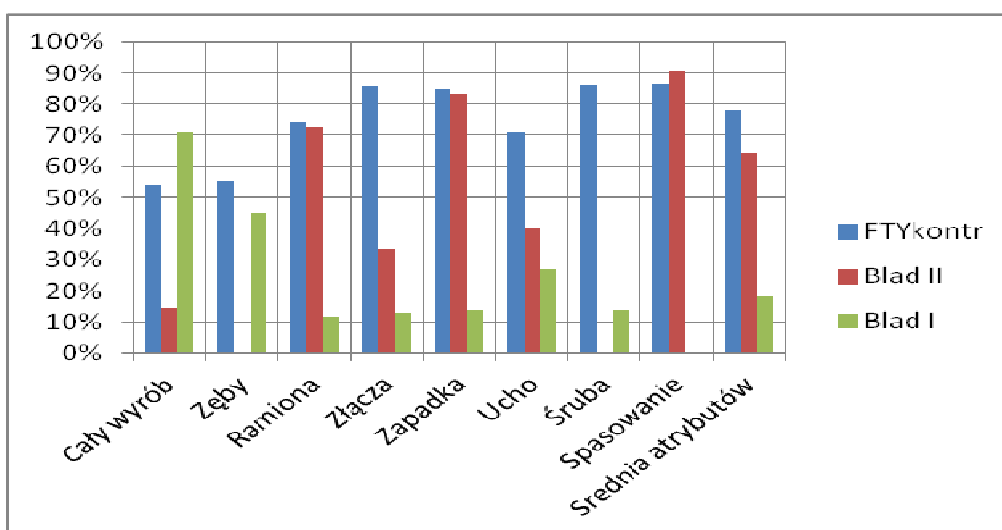
Wskaźnik ostatecznej skuteczności jakościowej procesu wytwarzania UTY^w_{wytw} przyjmuje wyższe wartości od wskaźnika pierwotnej skuteczności jakościowej zarówno dla każdego z atrybutów, jak i dla całego wyrobu. Dodatkowy nakład pracy związany z usuwaniem niezgodności w procesie wytwarzania skutkuje jednak nieznacznym wzrostem UTY^{cj}_{wytw} w stosunku do FTY^{cj}_{wytw} (średnia wzrasta z 0,91 do 0,94) i bardzo znaczącą poprawą wskaźnika UTY^w_{wytw} (0,94) w stosunku do FTY^w_{wytw} (0,56).

2. Skuteczność samego procesu kontroli (FTY_{kont}) jednostek wyrobu wynosi 0,54 (rys. 3). Podobnie jak w przypadku skuteczności jakościowej procesu wytwarzania, skuteczność kontroli w odniesieniu do pojedynczych atrybutów jest wyższa niż w odniesieniu do całego wyrobu. W czterech przypadkach poziom ten jest wyższy od

0,8, a w dwóch mieści się w przedziale od 0,7 do 0,8. Wartości wskaźników FTY_{wytw} i FTY_{kontr} są niezależne od siebie. Wartość FTY_{kontr} ma wpływ na wartości wskaźników UTY_{wytw} i QPE_{wytw} . W przypadku w pełni skutecznej kontroli, przy $FTY_{kontr}=1$, UTY_{wytw} także przyjmuje wartość 1, natomiast QPE_{wytw} może przyjąć wartość 1 ale nie musi. Na rys. 5 można także zauważyć poważne różnice w kształtowaniu się poziomów wartości błędów I i II rodzaju dla całego wyrobu i poszczególnych cech. Błąd II rodzaju przyjmuje stosunkowo wysokie wartości dla poszczególnych cech, a dla całego wyrobu jest kilkukrotnie niższy. Całkowicie odwrotną sytuację obserwuje się w przypadku kształtowania się wartości błędu I rodzaju. Przyjmuje on względnie niskie wartości dla każdego z atrybutów i kilkukrotnie wyższe dla całego wyrobu.

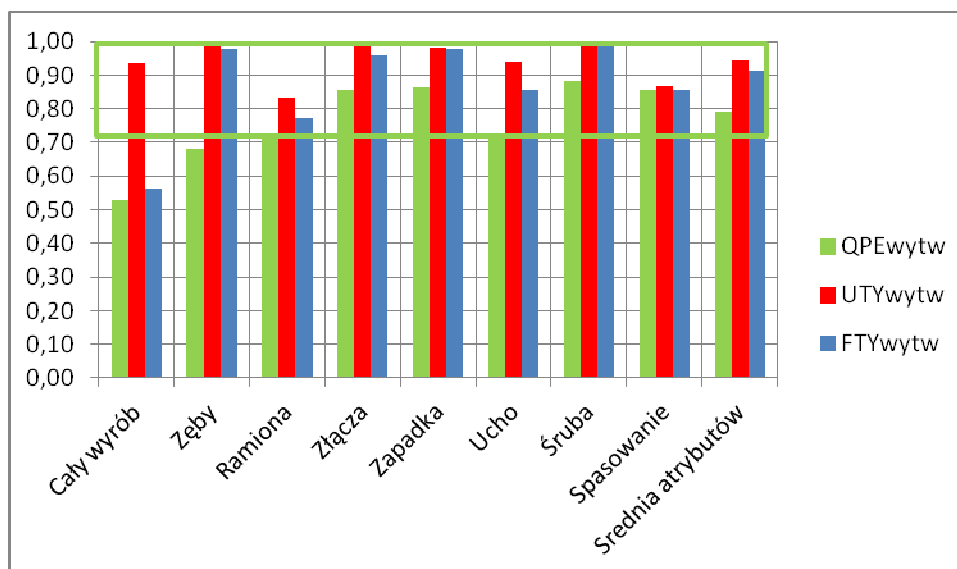


Rys. 2. Wartości wskaźników FTY_{wytw} i UTY_{wytw} dla całego wyrobu i poszczególnych atrybutów
Fig. 2. Values of FTY_{wytw} and UTY_{wytw} indices for the whole product and attributes



Rys. 3. Wskaźnik skuteczności procesu kontroli oraz błędy I i II rodzaju
Fig. 3. FTY_{kontr} index and I and II type errors

3. Efektywność procesu wytwarzania mierzona wskaźnikiem $QPE_{\text{wytw}}^w = 0,53$. Wskaźnik efektywności przyjmuje dla każdego z atrybutów i dla całego wyrobu wartości niższe niż odpowiadające mu wartości skuteczności jakościowej pierwotnej i ostatecznej (rys. 4).



Rys. 4. Wskaźnik efektywności procesu wytwarzania na tle wskaźników skuteczności jakościowej
 Fig. 4. Quality process efficiency against indices of quality effectiveness

4. WNIOSKI KOŃCOWE

1. Rozważania teoretyczne oraz wyniki badań wskazują na zagrożenie obniżenia skuteczności procesu kontroli wzrokowej alternatywnej związane z uwzględnianiem dużej liczby ocenianych atrybutów.
2. Jeżeli kontrola jakości jest umiejscowiona na końcu procesu i polega na jednoczesnej ocenie wielu niezależnych od siebie atrybutów, to może być przyczyną niskiej efektywności procesu wytwarzania, ponieważ wraz ze wzrostem ocenianych atrybutów wzrasta prawdopodobieństwo kwalifikowania wyrobów w istocie „dobrych” jako „złych” i równocześnie maleje prawdopodobieństwo kwalifikowania wyrobów w istocie „złych” jako „dobrych”. W skrajnym przypadku, kiedy ilość ocenianych atrybutów będzie bardzo duża wszystkie wyroby w istocie „dobre” albo „złe” będą kwalifikowane jako „złe” i przeznaczone do dalszej naprawy.
3. Dowiedziono, że kontrola polegająca na jednoczesnej ocenie wielu niezależnych atrybutów jest jedną z przyczyn niskiej efektywności procesu wytwarzania, ponieważ sprawia, że taki system kontroli wykazuje silną tendencję do kwalifikowania wyrobów do poprawy, bez względu na to, czy w rzeczywistości powinny być one poprawiane, czy nie. Jednakże opisany powyżej system nie stoi w sprzeczności

z możliwością osiągnięcia wysokich wartości ostatecznej skuteczności jakościowej procesu wytwarzania. W efekcie system będzie bardzo skuteczny, ale mało efektywny i bardzo kosztochłonny, ponieważ w naturalny sposób wymusza powstawanie tzw. „ukrytych fabryk”. Z drugiej strony jest dobrym gwarantem „niewypuszczenia” wyrobów niezgodnych do klienta, ponieważ wykazuje tendencję do obniżania, wraz ze wzrostem liczby ocenianych atrybutów, wartości błędu II rodzaju.

LITERATURA

- [1] DRURY C.G., 1978, *Integrating human factors model into statistical quality control*, Human Factors, 20, 561-572.
- [2] DRURY C.G., PRABHU P.V., 1992, *Human factors in test and inspection in Salvendy G. & Karwowski W. (Eds.), Handbook of Human Factors in Advanced Manufacturing*, New York, Wiley.
- [3] DRURY C.G., 1992, *Inspection performance in Salvendy G. (Ed.), Handbook of Industrial Engineering (2nd ed.), 2282-2314*, New York: John Wiley & Sons.
- [4] DRURY C.G., WATSON J., 2002, *Good practices in visual inspection*, Aircraft Maintenance Technology, 74-76.
- [5] FOX J.G., 1973, *Recent human factors contribution to enhancing industrial quality control*. Behaviormetric, 3, 99-118.
- [6] GALLWEY T.J., DRURY C.G., 1986, *Task complexity in visual inspection*, Human Factors, 21, 595-606.
- [7] GALLWEY T.J., 1998, *Evaluation and control of industrial inspection. Part I – Guidelines for the practitioner*, International Journal of Industrial Ergonomics, 22, 37-49.
- [8] GHYLIN K.M., DRURY C.G., BATTI R., LIN L., 2007, *Temporal effects in a security inspection task: Breakdown of performance components*. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 51, 83-97.
- [9] GRAMOPADHYE A.K., DESAI R.R., BOWLING S., KHASAWNEH M., 2003, *Task analysis of general aviation inspection activities: Methodology and Findings*, Proceedings of the Human Factors and Ergonomic Society 47th Annual Meeting, 47, 36-40.
- [10] HAMROL A. 2008, *Zarządzanie jakością. Teoria i praktyka*, PWN, Warszawa.
- [11] HARRY M., SCHROEDER R., 2000, *Six Sigma. the breakthrough management strategy revolutionizing the World's Top Corporation*, New York.
- [12] KAPLAN R.S., COOPER R., 1998, *Costs & effects. using integrated cost systems to drive profitability and performance*, Boston Harvard Business School Press.
- [13] MASKELL H.B., 1991, *Performance measurement for world class manufacturing: a model for American companies*, Productivity Press.
- [14] CCALLUM M., BITTNER A., RUBINSTEIN J., BROWN J., RICHMAN J., TAYLOR R., 2005, *Factors contributing to airport screener expertise*, Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 49, 922-926.
- [15] REBSAMEN M., BOUCHEIX J.M., FAYLOR M., 2010, *Quality control in the optical industry: From a work analysis of lens inspection to a training programme, an experimental case study*, Applied Ergonomics, 4, 150-160.
- [16] SEE J.E., 2012, *Visual inspection: A review of the literature*. Sandia National Laboratories, Albuquerque.
- [17] TAYLOR J.C., 1990, *Organizational context for aircraft maintenance an inspection*, Proceedings for Human Factors Society 34th Annual Meeting, 34, 1176-1180.
- [18] TIEMSTRA P.J., 1981, *Measuring the performance of inspection and sorting systems*, Journal of Quality Technology, 13/3, July.
- [19] WATANAPA A., KAEWKUEKOOL S., SUKSAKULCHAI S., 2012, *Influence of training with and without reward on visual inspector's performance in 3 dimension model*, Applied Mechanics and Materials, 110-116, 2911-2917.
- [20] WIENER E.L., 1975, *Individual and group differences in inspection in Drury C.G. and Fox J.G. (Eds.) Human Reliability in Quality Control*, London, Taylor & Francis, 101-122.
- [21] WIENER E.I., 1984, *Vigilance and inspections in Warm J.S. (Ed.) Sustained Attention in Human Performance*, Chichester, Wiley, 207-246.

INEFFECTIVENESS OF A FINAL CONTROL AS A CAUSE OF THE LOW EFFICIENCY
OF THE MANUFACTURING PROCESS

The article deals with the problem of an influence of incorrectly planned quality inspection on the efficiency of the manufacturing process. On the example of chosen surgical instrument, values of chosen quality process efficiency and effectiveness indices and quality inspection effectiveness index were described and computed. It was shown that in some cases placing a quality inspection at the end of production process can lead to a drastic decrease of the process efficiency.