

ANALIZA WPLYWU RODZAJU NIEZGODNOŚCI NA SKUTECZNOŚĆ KONTROLI WZROKOWEJ

Katarzyna VOGT, Agnieszka KUJAWIŃSKA

Streszczenie: W artykule zaprezentowano wyniki analizy wpływu rodzaju niezgodności w wyrobie na skuteczność kontroli wzrokowej. O rodzaju niezgodności decydowała jej lokalizacja na wyrobie. Oceniano wpływ różnego umiejscowienia niezgodności na wyrobie na zdolność jej wykrywania przez kontrolerów. Szczegółowo zaprezentowano wyniki eksperymentu, przeprowadzonego w przedsiębiorstwie produkującym elektronikę dla branży motoryzacyjnej. Badano skuteczność kontroli wzrokowych usytuowanych sekwencyjnie w wybranym procesie technologicznym. Stwierdzono, iż wpływ rodzaju niezgodności na skuteczność kontroli jest istotny statystycznie i różny dla operatorów charakteryzujących się odmiennym poziomem wrażliwości na niezgodności.

Słowa kluczowe: kontrola jakości, kontrola wzrokowa, niezgodność, błąd pierwszego i drugiego rodzaju, skuteczność

1. Wprowadzenie

We współczesnych procesach technologicznych kładzie się nacisk nie tylko na szybkość produkcji, ale także na odtwarzalność, powtarzalność i stabilność pojedynczych operacji technologicznych. Efektem opisanych powyżej starań powinno być spełnienie wymagań stawianych poszczególnym operacjom. Dbanie o jakość wyrobu jest niewątpliwie procesem złożonym ze względu na mnogość czynników ją warunkujących. Wśród podstawowych zmiennych wpływających na jakość wyrobu należy wyróżnić [Ishikawa]:

- jakość procesu,
- jakość materiału,
- jakość personelu,
- jakość wyposażenia,
- jakość środowiska,
- jakość pomiaru.

Wszystkie zmienne sumarycznie współtworzą jakość finalnego wyrobu, a więc należy je rozpatrywać wspólnie, nie zapominając jednak iż każdy z elementów składowych stanowi rezultat oddziaływania kolejnych, podrzędnych w danej kategorii zmiennych.

Jakość procesu uzależniona jest w dużej mierze od metod i technik wykorzystanych w celu realizacji w założonym czasie pojedynczych operacji technologicznych. Poza czynnikami związanymi bezpośrednio z stroną wytwórczą procesu, istotne są także czynniki organizacji pracy (czas pracy, stanowisko, zmienność pracy, rotacyjność zadaniowa, rotacyjność stanowiskowa itd.).

Jakość materiału (surowców, komponentów, podzespołów) na wejściu do procesu technologicznego stanowi równie istotny obok maszyn, ludzi i środowiska element składowy procesu wytwórczego. Wymagania dotyczące jakości materiału są wynikiem

uzgodnień pomiędzy klientem a dostawcą. Dbałość o jakość wykonania materiału spoczywa na dostawcach.

Przez jakość personelu należy rozumieć umiejętności, zdolności, doświadczenie zawodowe pracowników, ale także cechy personalne kształtujące atmosferę pracy, oraz relacje przełożony-podwładny, jak i koleżeńskie. Wśród istotnych psychofizycznych cech odpowiednich dla profilu kontrolera należy wyróżnić umiejętność podejmowania decyzji, sumienność, dokładność, wrażliwość, spostrzegawczość, odpowiedzialność za wykonywaną pracę, oraz świadomość potrzeby samokontrolowania wykonywanej pracy.

Odpowiednia jakość wyposażenia stanowi jeden z podstawowych warunków funkcjonowania linii produkcyjnych i bezpośrednio wpływa na możliwości wytwórcze przedsiębiorstwa. Maszyny, przyrządy, urządzenia powinny charakteryzować się jak powtarzalnością i odtwarzalnością działania w cyklu roboczym, a także zapobiegawczo ograniczoną możliwością nieprawidłowej obsługi przez człowieka. Niezwykle istotny aspekt stanowi utrzymanie oprzyrządowania w stanie umożliwiającym bezpieczne, proste i możliwie bezawaryjne obsługiwanie.

Jakość środowiska pracy odnosi się nie tylko do mikroklimatu stanowiska pracy, ale także do jego do ergonomii. Oprócz parametrów takich jak hałas, temperatura, wilgotność, poziom wibracji należy brać pod uwagę układ stanowiska pracy, dostęp do materiałów, czy potrzebnych pomocy, a także rozkład ludzkich ruchów niezbędnych do przeprowadzenia operacji technologicznej.

Wraz z postępem technologicznym coraz większa liczba operacji w procesie wytwarzania jest wykonywana przez maszyny, a udział człowieka wydaje się marginalny, nie mniej nadal konieczny. Mimo iż większość z nich w przeważającej liczbie branż (np. motoryzacja, farmaceutyka, telekomunikacja) obsługiwana jest wyłącznie automatycznie, obecność człowieka jest nadal nieodzowna. Człowiek w przewadze nad maszyną jest zdolny wykonywać operacje specjalne, niepowtarzalne, wymagające elastycznego podejścia do zagadnienia w zależności od bieżącej sytuacji. Szczególnie dużą rolę przypisuje się człowiekowi w procesie kontroli jakości.

Wśród najczęściej stosowanych metod kontroli alternatywnych najpowszechniejszą jest nadal ocena wizualna wykonywana przez człowieka, maszynę, lub hybrydę człowiek-maszyna. Badania przeprowadzone przez Jianga [6] pokazały iż "twór" człowiek-maszyna stanowi najbardziej optymalną kosztowo opcję tego typu kontroli przy zachowaniu akceptowalnego poziomu skuteczności kontroli (powyżej 85% poprawnych ocen). Udział człowieka jest niezwykle istotny na etapie podejmowania decyzji dotyczącej dyspozycji wyrobu. Mimo niewątpliwie wysokiej dokładności wykonania wyrobów jak i wydajności produkcyjnej nowoczesnych maszyn przewaga człowieka w procesach decyzyjnych nadal wydaje się być znacząca. Wzrost złożoności wytwarzanych wyrobów w związku z nieustannie wzrastającą liczbą i różnorodnością potrzeb klientów wiąże się niejednokrotnie z nieszablonowym podejściem do zagadnienia kontroli w toku, czy kontroli odbiorczej [9]. W niektórych przypadkach automatyczny system optyczny nie jest w stanie zapewnić odpowiedniego poziomu powtarzalności i odtwarzalności wykonywanej inspekcji i kontrola wzrokowa realizowana przez człowieka stanowi jedyne rozwiązanie [9].

Podsumowując można stwierdzić, że udział człowieka w kontroli wzrokowej jest ceniony ze względu na jego umiejętność rozpoznania przypadków nowych, elastyczność w sytuacjach niestandardowych. Podejmowanie decyzji dotyczącej jakości kontrolowanych wyrobów wymaga nie tylko posiadania określonego pakietu wiedzy branżowej, ale często indywidualnego podejścia do każdej kontrolowanej sztuki, dużej wrażliwości na niezgodności oraz ograniczonego zaufania do wytworzonego wyrobu.

2. Kontrola wzrokowa w etapach

Kontrola w powszechnym rozumieniu oznacza badanie, bądź pomiar określonych właściwości wyrobu, lub/i procesu oraz ocenę na podstawie otrzymanych wyników, czy dana cecha spełnia określone kryteria zgodności. Niekiedy w literaturze przywoływany jest termin weryfikacji, czy też inspekcji, ale bez względu na różne nazewnictwo oba mają na celu ocenę zgodności danych atrybutów wyrobu, nastaw technologicznych maszyny, czy parametrów procesu z wymaganiami zdefiniowanymi w specyfikacji przez klienta, bądź będących wewnętrznymi ustaleniami przedsiębiorstwa. Lisowski [17] interpretuje kontrolę jakości jako proces regulacyjny, którego działania mają na celu niwelowanie różnic pomiędzy zdefiniowanym standardem, a rzeczywistymi wynikami procesu. Zdaniem Mitry [20] kontrola jakości obejmuje zespół technik, czynności operacyjnych, które mają na celu monitorowanie procesu i eliminację przyczyn niesatysfakcjonujących osiągnięć w zakresie odpowiedniego poziomu jakości, mającego z kolei wpływ na efektywność ekonomiczną przedsiębiorstwa.

Ze względu na możliwość wykonania pomiaru ocenę jakości można podzielić na:

- ocenę cech mierzalnych (ilościowych) - cechy te mogą być zmierzone i przedstawione w pewnej jednostce miary,
- ocenę cech niemierzalnych (jakościowych) – można dokonać tylko słownego opisu cechy. Przyjmuje ona określoną liczbę stanów (cecha alternatywna).

Kontrolę jakości dla cech alternatywnych można wykonać przez sprawdzenie lub obserwację co w konsekwencji pozwala na zaklasyfikowanie obiektu do jednego z kilku stanów. Może ona być wykonywana z udziałem specjalistycznych urządzeń, które w sposób automatyczny klasyfikują wyroby lub z udziałem wyłącznie człowieka. Wśród grupy technik kontroli alternatywnej nadal najpowszechniej występującą jest ocena jakości produktów metodą wzrokową. Kontrola wzrokowa jest szczególnie istotna w przypadku procesów, których powtarzalność i odtwarzalność jest ograniczona, a rezultaty procesu różnią się i wymagają indywidualnego podejścia podczas oceny jakości ich wykonania.

Inspekcja wzrokowa z punktu widzenia procesu pracy zdaniem Foxa [7] składa się ona z kilku etapów, wśród których zasadniczo wyróżnić można:

- wzrokowe „screenowanie”/szukanie potencjalnych błędów,
- wyszukanie („zdobycie”) błędu,
- klasyfikacja błędu,
- decyzja kwalifikująca podzespół/wyrób/usługę.

Każdy z etapów ma swój częściowy wpływ na skuteczność kontroli, a także niezawodność procesu produkcyjnego. Pierwszy z etapów, który polega na wzrokowej ocenie obiektu przez człowieka wymaga dużej czujności, wyostrejzonej wrażliwości zmysłu wzroku na potencjalne błędy, które mogą wystąpić. W pierwszym i drugim etapie kontroli, w których szczególne znaczenie ma poziom percepcji operatora, bezwzględnym wymaganiami są odpowiednie warunki pracy na stanowisku, a więc przykładowo poziom oraz rozkład luminacji na stanowisku optymalnie dobrany do mikroklimatu pomieszczenia, a także kontrolowanego obiektu.

W ocenie wzrokowej bardzo istotną sprawą jest znajomość błędów, które potencjalnie mogą zostać znalezione na danym stanowisku kontrolnym oraz jasne zdefiniowanie przez ekspertów (inżynierów) kryteriów kontroli (ile niezgodności i jakiego typu powoduje, że wyrób uznaje się za niezgodny). Z jednej strony standaryzacja ta ułatwia pracę, z drugiej jednak strony ogranicza, zawęża obszar poszukiwania błędów. Operator mając na uwadze listę potencjalnych błędów skupia się na wyszukiwaniu tylko zdefiniowanych. Ryzyko

pominięcia błędów niewymienionych na liście, a które są nawet widoczne bez użycia powiększenia bywa duże. Często szablonowe podejście do procesu kontroli nie pobudza kreatywności oraz w znacznym stopniu wiąże się z bierną postawą operatora w stosunku do wykonywanej pracy. W takim przypadku bardzo łatwo może popełnić on błędy przeoczenia (w terminologii statystyki błędy II rodzaju), czy nieprawidłowej klasyfikacji (błędy I rodzaju).

Ostatnim etapem procesu kontroli jest podjęcie decyzji przez operatora czy wyrób może być przekazany do dalszych kroków procesu, lub czy też ma być oddzielony od wyrobów zgodnych.

Dwa z czterech wyżej wymienionych etapów (wyszukiwanie błędów oraz podejmowanie decyzji) wydają się szczególne istotne, a zarazem najbardziej znamienne z punktu widzenia osiągnięcia zamierzonego skutku. Okazuje się jednak, że te dwa etapy narażone są na największą zmienność decyzji poszczególnych operatorów. Zmienność ta jest rezultatem różnego doświadczenia, poziomu zdobytej wiedzy, wykształcenia, czy też motywacji do wykonywania pracy przez poszczególnych operatorów. Zdaniem Skrzypek [25] aby mówić o skuteczności procesu decyzyjnego należy mieć na uwadze naturę problemu, zdefiniować warunki brzegowe, które rozwiązane musi spełniać pamiętając jednocześnie o celu procesu decyzyjnego, a także minimalnych kryteriach które pozwalają na akceptację rozwiązania.

3. Niezgodność w kontroli wzrokowej

Niezgodnością określamy stan wyrobu nieodpowiadający wymaganiom zdefiniowanym przez jednostki nadrzędne (np. urzędy), przez klienta, bądź ustalonym wewnątrz przedsiębiorstwa. W zależności od ustalonych kryteriów jakości i sposobu postępowania z niezgodnościami finalnie wyrób niezgodny można naprawić (niezgodności naprawialne), bądź wybrakować (niezgodności nienaprawialne). Przedmiotem niezgodności mogą być nie tylko wyroby, ale także każdy z czynników składowych tworzących jakość wyrobu. Niezgodności mogą towarzyszyć codziennej pracy kontrolerów i wynikać z ograniczonej ich wrażliwości na błędy, ograniczonej percepcji, jak i doświadczenia, oraz umiejętności. Niezgodności mogą mieć różne przyczyny zarówno bezpośrednio wynikające z niewiedzy, bądź ograniczonych możliwości wykonywania prawidłowo pracy, jak i pośrednie będące wynikiem na przykład nieergonomicznego stanowiska pracy. Niezgodności mogą być także wynikiem nieprawidłowych warunków w środowisku pracy (np. zbyt duży poziom hałasu, za wysoka/niska temperatura), jak i nieprawidłowości w pracy maszyn (np. awarie, przestoje).

3.1. Niezgodności w pracy kontrolera

Obecność człowieka w operacjach kontrolnych procesu technologicznego jest nieodzowna szczególnie z uwagi na fakt coraz większej złożoności produkowanych wyrobów. Istnieje potrzeba zapewnienia detalicznej kontroli, która w jak najbardziej dokładny sposób opisze jakość produkowanych wyrobów. Dodatkowo dostarczy informacji o zdolności procesu produkcyjnego i wskaże ewentualne obszary wymagające poprawy. O ile maszyny są technicznie zdolne do zbierania informacji w postaci pomiaru określonych cech wyrobu (np. metodą skaningową) o tyle etap podejmowania decyzji w zakresie dyspozycji kontrolowanych wyrobów stanowi nadal etap dość problematyczny. Człowiek bogaty w wiedzę potrafi zareagować w sposób pożądany, adekwatny do sytuacji.

Zmienność kontrolowanych, mierzalnych cech w zakresie tolerancji utrudnia prowadzenie automatycznej kontroli jakości. Zdaniem Schultza [23] wśród czynników ograniczających maszynę w porównaniu do możliwości człowieka jest jej mała elastyczność, brak możliwości uczenia się na drodze doświadczenia i doskonalenia pracy, jak również improwizowania, analizowania alternatywnych rozwiązań. Przedmiotową kontrolę wzrokową wykonywaną przez człowieka niewątpliwie charakteryzuje dużo wyższy poziom subiektywizmu w porównaniu do kontroli wykonywanej przez maszynę i większe ryzyko popełnienia błędu.



Rys. 1. Poziomy podejmowania decyzji [1]; Biological Cybernetics, 1999, 81, s. 446

Rozpatrując kontrolę wzrokową wykonywaną przez człowieka trzeba mieć na uwadze wpływ człowieka na jej skuteczność. Często w powszechnie stosowanym terminem jest pojęcie błędu ludzkiego w procesie oceny. Błąd ludzki jest terminem wielorako interpretowanym w literaturze oraz czasopiśmie, jak również często mylonym ze zwrotem „czynnik ludzki”. Pomyłki, potknięcia z winy człowieka należą do najczęściej przywoływanych w aspekcie problemów produkcyjnych. Dodatkowo badania przeprowadzone przez Hollnagela, a także Rasmussen [12] wskazują, iż błędy ludzkie są w dużej mierze główną przyczyną wypadków w przemyśle (50-80%), a więc następstwem ich popełnienia może być nie tylko przedmiot, czy też podmiot na przykład procesu kontroli, ale jego dodatkowi uczestnicy. Zdaniem Deminga 85 % problemów z jakością wynika z błędów w systemie, a tylko 15 % można przypisać pracownikom [27].

Występowanie błędów ludzkich jest nieuniknione i ryzyko ich wystąpienia jest silnie zależne od predyspozycji człowieka do ich popełnienia. Według Johnsona błąd ludzki charakteryzuje nieuchronność, oraz nieprzewidywalność. Duży subiektywizm w interpretacji błędu ludzkiego utrudnia także prowadzenie rozważań, analiz nad genezą jego powstawania. Ponadto zdaniem Johnsona interpretacja błędu ludzkiego, a więc również szacowanie ryzyka jego popełnienia silnie zależą od kontekstu sytuacyjnego, stąd stworzenie idealnego obrazu kontroli jakości oraz prognozowanie występowania błędów kontrolerów w czasie jest praktycznie niemożliwe.

Istnieje szereg czynników pośrednio i bezpośrednio wpływających na skuteczność kontroli. Są one w dużej mierze związane z fizyczną i psychiczną kondycją operatora, jego osobowością, charakterem, motoryczną sprawnością, poziomem motywacji i wiedzy, doświadczeniem, świadomością sytuacji, koncentracją, zdolnością rozwiązywania problemów wielowątkowych, możliwościami przetwarzania informacji, percepcją, inteligencją, zdolnością zapamiętywania i przetwarzania informacji, oraz kulturowymi aspektami, normami postępowania, kulturą organizacyjną przedsiębiorstwa, czy wreszcie organizacją stanowiska pracy (m.in. poprzez kształtowanie środowiskowych czynników

takich jak: hałas, wibracje, temperatura, mikroklimat) i pracy (m.in. częstotliwość występowania stresorów w trakcie godzin pracy, praca zmianowa, mała liczba przerw, niejasne kryteria pracy, niejasny system oceny pracy, nieskuteczny system motywacji, niesprawiedliwy system wynagradzania pracowników) determinujących samopoczucie pracownika [8] na stanowisku pracy, a także warunkujące skuteczność wykonywanej pracy.

3.2. Niezgodność na kontrolowanych wyrobach

Niezgodności powstające na wyrobach mogą być różnorodne. W zależności od czynnika, który dominująco wpływa na jakość wyrobu wyróżnić można niezgodności o pochodzeniu:

- materiałowym,
- procesowym,
- systemowym.

Niezgodności materiałowe są następstwem niezgodności występujących w procesach wytwórczych dostawców komponentów, podzespołów, surowców. W zależności od złożoności defektu część niezgodności jest możliwa do wykrycia przez wzrokową kontrolę. Nie wszystkie jednak błędy są dostępne dla oka, zwłaszcza nieuzbrojonego. Dodatkowo część z błędów ujawnia się dopiero w trakcie użytkowania wyrobu, a część pozostaje ukryta w początkowej fazie eksploatacji.

Niezgodności procesowe powstają w trakcie realizacji procesu produkcyjnego, przy założeniu iż jakość komponentów wejściowych, personelu, oraz oprzyrządowania spełnia ustalone wymagania. Mnogość błędów, które jest w stanie generować proces wymaga dużego skupienia i czujności osób kontrolujących wyroby zarówno w trakcie realizacji procesu, jak i finalnie przed wysyłką do klienta. Ograniczenie się do zamkniętej listy oczekiwanych niezgodności na wyrobach limituje skuteczność kontroli wzrokowej i wymusza w dużej mierze wpływa na błędy II rodzaju, inaczej określane błędami przeoczenia. Ze względu na stopień złożoności budowy wyrobu wyróżnić można niezgodności o:

- znanej lokalizacji na wyrobie,
- przypadkowej lokalizacji na wyrobie.

Biorąc pod uwagę rodzaj niezgodności warunkowany lokalizacją niezgodności na wyrobie niezwykle istotnym aspektem staje się wrażliwość operatorów na błędy, jak również podejście do zagadnienia kontroli. O ile niezgodności o znanej lokalizacji są łatwe w kontroli gdyż dotyczą obszarów widocznych i zdefiniowanych na wyrobie, o tyle te o nieznanym lokalizacji występują w przypadkowych lokalizacjach i nie można szablonowo założyć powtarzalności ich występowania.

Analizując przypadek produkcji obwodów drukowanych można wyróżnić przykłady niezgodności o znanej i nieznanym lokalizacji na wyrobie (Tab. 1, Rys.2).

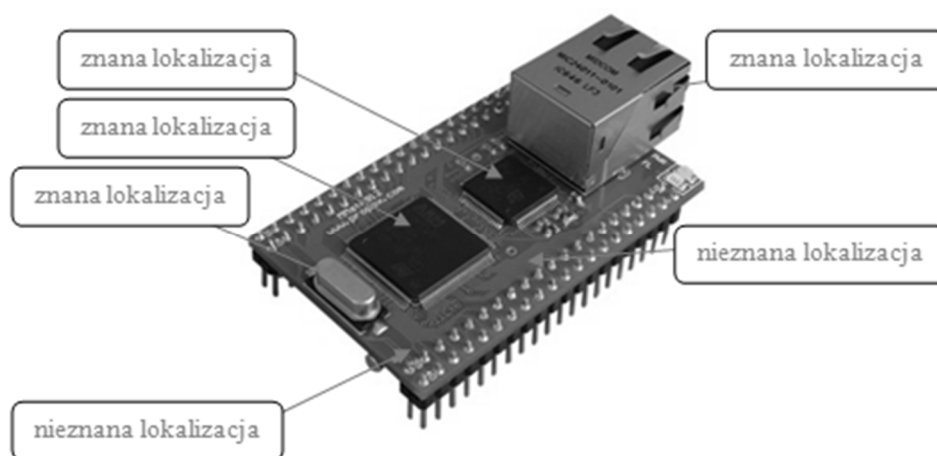
Niezgodności o znanej lokalizacji dotyczą określonej strony wyrobu (top/bottom), a także ograniczonej liczby komponentów elektronicznych (np. rezystory, transformatory, kondensatory) montowanych na obwodach ograniczonych.

Niezgodności, których lokalizacja jest z założenia nieznaną operatorowi, mogą wystąpić na każdej ze stron wyrobu, jak również pojawić się w dowolnym obszarze tego wyrobu, obejmując swoim zasięgiem na przykład kilka komponentów. Z uwagi na fakt, iż niezgodności tych nie da się przewidzieć z góry ryzyko ich przeoczenia jest zdecydowanie większe w porównaniu do niezgodności o znanej lokalizacji. Zdolność wychwytywania

niezgodności o nieznannej lokalizacji wymaga bardzo dużej wrażliwości i czułości u kontrolerów.

Tab. 1 Przykładowe niezgodności na obwodach drukowanych [opracowanie własne]

Błędy o znanej lokalizacji	Błędy o nieznannej lokalizacji
błędy lutowania komponentów	błędy pokrycia powłoką ochronną
błędy montażu komponentów	zanieczyszczenia
jakość komponentów wejściowych	



Rys. 2. Przykład interpretacji rodzaju niezgodności na wyrobie [opracowanie własne]

4. Metodyka badań

Analizując wpływ rodzaju niezgodności na skuteczność kontroli wzrokowej poddano badaniu działania kontroli wzrokowej w operacjach wytwarzania obwodów drukowanych dla przemysłu samochodowego. Badania prowadzono w ciągu 33 tygodni. Analizie poddano kontrole po operacji montażu, lutowania komponentów oraz nakładania powłoki ochronnej (Rys. 3). Metodą oceny istotności statystycznej wpływu rodzaju niezgodności na skuteczność kontroli była analiza wariancji ANOVA. Skuteczność poszczególnych kontroli wyrażano wskaźnikiem FPY [16] określającym relację liczby niezgodności wykrytych za pierwszym razem do całkowitej liczby niezgodności. Wartości wskaźnika FPY dla poszczególnych kategorii niezgodności stanowiły uśrednione wartości czterech sekwencyjnie rozmieszczonych kontroli wzrokowych (K1-K4). W Tab.2 wskazano strzałkami które wskaźniki FPY brano pod uwagę obliczając uśrednioną wartość FPY dla określonej kategorii niezgodności (np. FPY błędu montażu niezgodności to uśredniona wartość FPY_{K1} , FPY_{K2} , FPY_{K4}). Do analizy nie brano pod uwagę kontroli finalnej (K5) wychodząc z założenia jej 100% skuteczności (brak reklamacji od klienta).



Kontrola 1 - 100% kontrola po montażu i lutowaniu komponentów
 Kontrola 2 - 200% kontrola po montażu i lutowaniu komponentów (duplikacja kontroli 1)
 Kontrola 3 - 100% kontrola po nakładaniu powłoki ochronnej
 Kontrola 4 - 100% kontrola po teście funkcjonalnym
 Kontrola 5 - 100% końcowa kontrola

Rysunek3. Operacje i działania kontrolne w analizowanym procesie [opracowanie własne]

Tab.2 Matryca operacji i kontroli, miejsc powstawania i wykrywania skategoryzowanych niezgodności. ozn. P - miejsce powstania błędu; FPY- wskaźnik skuteczności w miejscu wykrywania błędu.[opracowanie własne]

Nazwa operacji/kontroli	Niezgodności w montażu komponentów	Niezgodności w procesie lutowania komponentów	Niezgodności w procesie pokrywania powłoką ochronną	Zanieczyszczenia
OPERACJA 1 (OP1) Montaż i lutowanie komponentów	P	P		
Kontrola 1 (K1)	FPY _{K1}	FPY _{K1}		FPY _{K1}
Kontrola 2 (K2)	FPY _{K2}	FPY _{K2}		FPY _{K2}
OPERACJA 2 (OP2) Nakładanie powłoki ochronnej			P	
Kontrola 3 (K3)			FPY _{K3}	
OPERACJA 3 (OP3) Test funkcjonalny				
Kontrola 4 (K4)	FPY _{K4}	FPY _{K4}	FPY _{K4}	FPY _{K4}

4. Analiza wyników badań

Badając wpływ rodzaju niezgodności na skuteczność sekwencyjnych stuprocentowych kontroli wizualnych w procesie produkcyjnym elektroniki posłużono się analizą wariancji ANOVA. Celem analizy wariancji ANOVA [3] było testowanie istotności różnic pomiędzy średnimi wartościami wskaźników FPY poszczególnych rodzajów niezgodności. Oceniając istotność różnic średnich wypadkowych skuteczności wyrażanych wskaźnikiem FPY pomiędzy poszczególnymi kontrolami posłużono się wartościami liczbowymi, a nie procentowymi wskaźnikami.

Postawiono hipotezy:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

H_1 : nie wszystkie średnie są sobie równe

Obliczono średnie grupowe (wypadkowe FPY dla tygodni 8-40), oraz średnią ogólną (Tab.3). Przez grupy autorzy rozumieją rodzaje niezgodności. Wartości charakterystyk testowych, oraz wartość testu F-Snedecora przedstawiono natomiast w Tab.4.

Tab. 3 Statystyki do grup dla analizy ANOVA [opracowanie własne]

rodzaje niezgodności		średnia grupowa	liczność próbek	standardowe odchylenie grupowe	wariancje grupowe
o znanej lokalizacji	błędy montażu	0.5889	33	0.2722	0.0741
	błędy lutowania	0.5824	33	0.2192	0.0480
o nieznannej lokalizacji	błędy nakładania powłoki	0.3298	33	0.3215	0.1033
	zanieczyszczenia	0.3298	33	0.3215	0.1033
średnia całkowita		0.458			

Tab. 4 Wyniki jednoczynnikowej analizy ANOVA [opracowanie własne]

Źródło zmienności	Suma kwadratów odchyień	Liczba stopni swobody	Wariancje	Wartość testu F-Snedecora	Wartość krytyczna	Prawdopodobieństwo przyjęcia zadanej hipotezy p-value
Pomiędzy grupami (SSB)	$SSB = \sum_{j=1}^4 n_j (\bar{x}_j - \bar{x})^2 = 2,160$	$df_b = c - 1 = 4 - 1 = 3$	$MSB = \frac{SSB}{df_b} = \frac{2,160}{3} = 0,720$	$F_{df_b, df_w} = \frac{MSB}{MSW} = \frac{0,720}{0,082} = 8,760$	$F_{3,128} = 2,696$	1.95E-05
Wewnątrz grup (SSW)	$SSW = \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 = 10,522$	$df_w = n - c = 132 - 4 = 128$	$MSW = \frac{SSW}{df_w} = \frac{10,522}{128} = 0,082$			
Całkowita (SST)	$SST = \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x})^2 = 12,683$					

Analizując średnie grupowe poszczególnych rodzajów niezgodności można zauważyć różnice pomiędzy niezgodnościami o znanej i nieznannej lokalizacji. Wynik testu (bardzo małe prawdopodobieństwo "p" dla sprawdzianu testu F) sprawia, że odrzucamy hipotezę zerową na rzecz hipotezy alternatywnej. Dodatkowo należy stwierdzić, iż prawdopodobieństwo przyjęcia zadanej hipotezy zerowej określane p-value, ma na tyle niską wartość, iż nawet przyjęcie niższego poziomu istotności (bardziej restrykcyjnego dla badań) na przykład $\alpha = 0,01$ i tak nie pozwoliłoby na przyjęcie hipotezy zerowej, mówiącej o równości średnich wypadkowych skuteczności kontroli.

5. Wnioski

Wpływ rodzaju niezgodności na skuteczność wizualnej kontroli jest istotny statystycznie. Niezgodności, których umiejscowienie na obwodzie jest przypadkowe, trudne do przewidzenia (np. błędy pokrywania powłoką, zanieczyszczenia) stanowią dla operatorów zdecydowanie większe wyzwanie w kontroli. Niezgodności o stałej, zdefiniowanej lokalizacji (np. błędy montażu, błędy lutowania) są zdecydowanie lepiej wykrywane od tych o nieznannej lokalizacji. Wyniki testu F-Snedecora potwierdzające istotność wpływu rodzaju niezgodności na skuteczność kontroli skłaniają do stwierdzenia, iż szablonowość podejścia do procesu kontroli przez operatorów stanowi ograniczenie

skuteczności kontroli. Szablonowość, sztywność podejścia, kierowanie się ograniczoną listą niezgodności danej kategorii ogranicza czujność kontrolera, a tym samym zwiększa ryzyko popełnienia błędów II rodzaju (przeoczenia). Wrażliwość na błędy, czujność, oraz zdolność podejmowania decyzji i wnioskowania współtworzą pożądane cechy profilu kontrolera, na które należy zwracać uwagę już na etapie doboru osób na stanowiska kontrolne.

Literatura

1. Arif M., Inooka H., Iterative manual control model of human operator. *Biological Cybernetics*, 1999, 81, 445-455
2. Brzeziński J., *Psychological studies methodology*, PWN, Warsaw 2010.
3. Brzeziński J., Stachowski R.: Zastosowanie analizy wariancji w eksperymentalnych badaniach psychologicznych. PWE, 1981
4. Cepin M., Importance of human contribution within the human reliability analysis, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2007, 21, 268-276
5. Drury C.G., Sinclair M.A., Human and machine performance in an inspection task. *Human Factors*, 25, 391-399, 1983.
6. Jiang X., Gramopadhye A. Evaluation of Best System Performance: Human, Automated, and Hybrid Inspection Systems. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 2003, 13 (2), 137-152
7. Fox J.G., Ergonomics contribution to subjective inspection in industrial quality control, 1975, *The Production Engineer*
8. Graeber C. The Role of Human Factors in Improving Aviation Safety, *Aero Magazines*, No 9., 1999
9. Hamrol A., *Quality Management with examples*, PWN, Warsaw 2005.
10. Hamrol A., Kowalik D., Kujawińska A., Impact of chosen work condition factors on quality of manual assembly process, *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, Volume 21, Issue 2, pages 156–163, March/April 2011, poz: 3331, wydanie drukowane, 2011.
11. Hansen F.D., Human error: A concept analysis. *Journal of Air Transportation*, 2006, 11 (3), 61-77
12. Jo Y-D., Park K-S., Dynamic management of human error to reduce total risk, 2003. *Journal of Loss Prevention*, 16, 313-321
13. Juchnowicz M., Operator job engagement. Evaluation, and motivation methods, PWE 2007.
14. Kalaykov I, Wide P., Intelligent Feature Estimation, Based on Human's Perceptual Features, 2003, SCIMA, International Workshop on Soft Computing Techniques, Measurements and Related Applications
15. Khan F., Human factors special issue. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2008, 21, 225-226
16. Kujawińska A., Vogt K. Analiza wpływu wybranych czynników pracy na skuteczność kontroli wzrokowej, *Inżyniera Maszyn*, nr.X
17. Lisowski J, *Zarządzanie jakością w przedsiębiorstwie*, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Finansów i Zarządzania w Białymstoku, Białystok 2004.
18. Liu Z., Xiao J., Huang Y., Proactive product quality control: An integrated product and process control approach to MIMO systems. *Chemical Engineering Journal*, 2009, 149, 435-446

19. Maslow A., Motivation and personality, PWN, Warsaw 2006.
20. Mitra A., Fundamentals of quality control and improvement, Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall, 1998
21. Przytocki M., Jakubiec K., Psychophysical performance rhythms vs. Production shift work, www.wsiz.rzeszow.pl/kadra/1stoklosa/.../Rytmy%20wydolności.ppt
22. Seiwert L. J., How to organize time, Job studies commission results, Warsaw 1998.
23. Schultz D., Psychologia a wyzwania dzisiejszej pracy, PWN, Warszawa 2012.
24. Sekuła Z, Motivation to work. Theory and instrument, PWN 2007
25. Skrzypek E., Quality and efficiency, UMCS, Lublin 2000.
26. Skrzypczak Z., Job and organization psychology, PWN, Warsaw 2007.
27. <http://www.umbrella.org.pl/> - portal doskonalenia zarzadzania

Mgr inż. Katarzyna Vogt
Dr inż. Agnieszka Kujawińska
Katedra Zarządzania i Inżynierii Produkcji
Politechnika Poznańska
60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3
tel./fax: (0-61) 665 27 74
e-mail: agnieszka.kujawinska@put.poznan.pl
katarzyna_vogt@o2.pl