

Publikacja

Kontrola procesu produkcji warunkiem utrzymania konkurencyjnej pozycji firmy

Wielu producentów szuka sposobów na obniżenie kosztów produkcji, równocześnie nie jest w stanie pozwolić sobie na zakup bardziej wydajnego wyposażenia. Jakie są zatem możliwości radykalnego obniżenia kosztów bez wymiany maszyn? Niniejszy artykuł przedstawia cztery obszary, w których firmy gotowe zmienić sposób kontroli procesu produkcji, mogą odnaleźć oszczędności.

Gdzie znajdują się możliwości obniżenia kosztów?

Jeżeli zamierzamy...

- skrócić czas obsługi maszyn,
- skrócić bezproduktywne czasy przygotowawczo zakończyeniowe,
- obniżyć liczbę braków, poprawek oraz części dopuszczonych warunkowo,
- obniżyć koszty nadzoru.

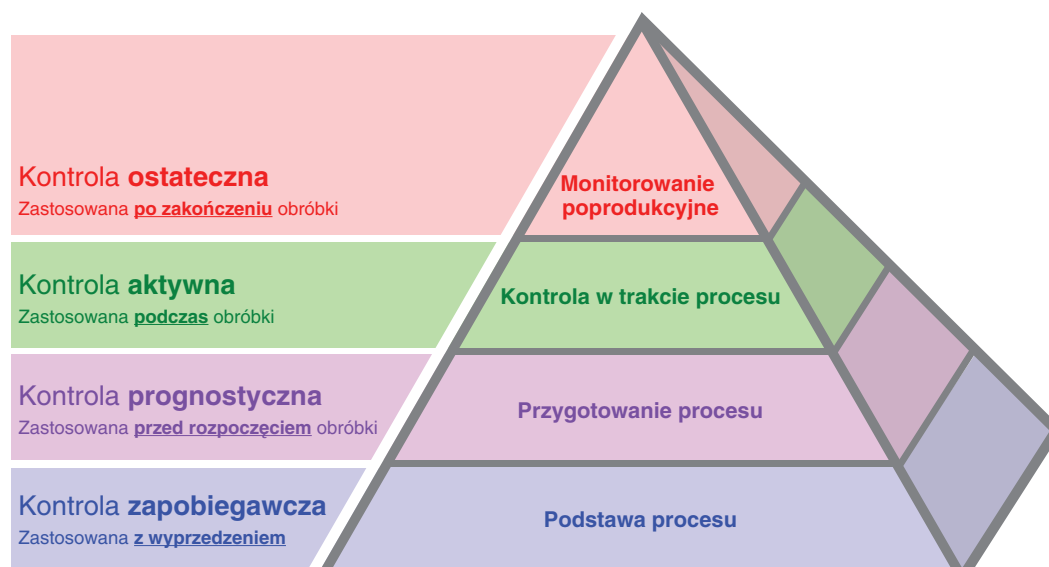
... wówczas musimy się skupić na zmniejszeniu udziału czynności wykonywanych ręcznie i bezpośrednio zając się przyczynami występowania błędów.

Te dwa cele idą ze sobą w parze, ponieważ wiele błędów w procesie produkcji wynika z interwencji człowieka. Jednak pozbycie się tych problemów nie wystarczy. Musimy także zwrócić większą uwagę na środowisko pracy, samą obrabiarkę, przygotowanie operacji przed rozpoczęciem skrawania oraz kontrole w trakcie produkcji. Niniejszy artykuł przedstawia prosty model, który wyjaśnia źródła niezgodności w procesie produkcji oraz metody zapobiegania niezgodnościom poprzez efektywną kontrolę procesu.

Odchudzenie procesu produkcji otwiera możliwości ale...

Techniki tzw. odchudzonej produkcji (lean manufacturing) pomagają producentom usprawnić przepływ pracy w ich fabrykach, eliminując marnotrawstwo, skracając czasy przygotowań i minimalizując ilość procesów w toku. Są to cenne oszczędności, które uzyskać można zwłaszcza, gdy proces obróbki jest przewidywalny, powtarzalny i pozwala na produkcję zgodną z wymaganiami. W przeciwnym razie wąskie gardła, opóźnienia i nieterminowe dostawy są niemożliwe do wyeliminowania.

Sposobem na uzyskanie przewidywalnej produktywności jest stawienie czoła zmienności w produkcji u jej źródła, poprzez rozpoznanie podstawowych przyczyn. Indywidualne podejście do każdego ze źródeł zmienności sprawia, że kontrola wyników procesu jest znacznie łatwiejsza.



Koncepcja Piramidy Produktywności Procesu pokazuje jak każdy z poziomów kontroli wpływa na systematyczną redukcję zmienności w procesie obróbki.

Piramida Produktowności Procesu (The Productive Process Pyramid™)

Przedstawiona tu koncepcja Piramidy Produktowności Procesu zakłada istnienie czterech poziomów kontroli, które są od siebie zależne i z których każdy ma olbrzymi wpływ na poziom produktywności procesu. Począwszy od fundamentu:

- **Podstawę procesu** stanowi zapewnienie stałych warunków, w których maszyna może wykonywać swoją pracę. Tak zwana kontrola zapobiegawcza ma na celu obniżenie liczby źródeł zmienności przed rozpoczęciem produkcji.
- Na etapie **przygotowania procesu** rozpoznaje się przewidywalne źródła zmienności, takie jak położenie przedmiotu, wymiary i offsety narzędzi, które mogą spowodować, że pierwsza seria produkcji nie będzie odpowiadać wymaganiom.
- Trzeci poziom to **kontrola w trakcie procesu**. Stawia ona czoła źródłom zmienności, które są typowe dla procesu obróbki – zużyciu narzędzi i zmianom temperatury – dostarczając użytecznej informacji zwrotnej pozwalającej na przystosowawcze zmiany w trakcie procesu skrawania.
- Najwyższy poziom to **monitorowanie poprodukcyjne**, w którym zarówno proces jak i produkt są sprawdzane względem swoich specyfikacji. Część weryfikacji można wykonać na obrabiarce, ale większość zadań jest wykonywana poza linią produkcyjną.

Jeżeli celem jest wysoka wydajność procesu oraz przewidywalna produktywność, wówczas niezbędne jest skupienie uwagi na każdym z poziomów, począwszy od samej podstawy. U dołu piramidy zadania są bardziej ogólne, dzięki czemu mogą być w łatwy sposób wprowadzane na szeroką skalę. Przesuwając się ku górze rodzaj prowadzonej kontroli staje się bardziej indywidualnie dostosowany do konkretnego procesu i tym samym zawęża się jej zakres. Dlatego zastosowanie metod kontroli specyficznych dla procesu produkcji ma sens tylko po rozwiązaniu podstawowych problemów zmienności. W przeciwnym razie zwrot z takiej inwestycji będzie niewspółmierny do nakładów.

Przyjrzyjmy się nieco bliżej każdemu poziomowi po kolei.

Wzorcowanie obrabiarki przy pomocy interferometru laserowego

Podstawa procesu

Kontrola w podstawowej warstwie Piramidy skupia się na zwiększeniu stabilności środowiska, w którym realizowany jest proces. Tego rodzaju kontrola zapobiegawcza eliminuje wpływ przyczyn zmienności na proces obróbki.

Kontrola w warstwie podstawy procesu obejmuje:

- **Projektowanie dla produkcji** – podejście do tworzenia i wdrażania projektu zakładające dokładne zrozumienie aktualnego potencjału oraz potrzeb i dążenie do wykorzystania najlepszych praktyk, a nie „wyważania otwartych drzwi”. Powinno skupić się wokół optymalizacji oraz wiązać z racjonalizacją gospodarki narzędziowej i standaryzacją parametrów obróbki. Efektem jest obniżenie poziomu zmienności pomiędzy kolejnymi procesami oraz uzyskanie daleko idących ulepszeń za każdym razem, gdy wprowadzana jest nowa metoda postępowania.
- Kontrola **czynników procesu** zakłada korzystanie z FMEA tzw. Analizy rodzajów i skutków błędów oraz innych technik, w celu zrozumienia i umożliwienia kontroli czynników, które mogą mieć wpływ na wyniki procesu obróbki. Może to obejmować zapewnienie zgodności z zakładaną geometrią ostrza, elementami mocowania, zabezpieczeniem dostępu do programów obróbkowych i przygotowaniem półproduktu. Jeżeli warunki są zgodne z zakładanymi na początku procesu, wpłynie to pozytywnie na jego przebieg.
- **Stabilność środowiska** dotyczy takich zewnętrznych źródeł niezgodności, których nie można z góry wykluczyć, a które są nieuniknione w środowisku produkcyjnym. Obejmuje to zmiany temperatury otoczenia, ciepło wytwarzane w trakcie obróbki, czystość maszyny i jej wyposażenia, żywotność narzędzi, a także nieoczekiwane zdarzenia takie jak uszkodzenie narzędzia czy przerwanie dostawy prądu. Rozwiązaniem wielu tych problemów wpływających na zmienny poziom produktywności jest dyscyplina zarządzania produkcją.



- Zapewnienie **optymalnego stanu obrabiarki** jest niezbędnym i zasadniczym elementem procesu, ponieważ niedokładna maszyna nie może wytwarzać części odpowiadających wymaganiom. Wnikliwy proces oceny parametrów obrabiarki, wzorcowanie oraz (gdzie jest to wymagane) modernizacja mogą poprawić parametry maszyny odpowiednio do wymagań procesu. Decyzje dotyczące bieżącej przydatności obrabiarki do produkcji lub ewentualnej konserwacji mogą być regularnie podejmowane w wyniku kontroli wykonywanej przez operatora.



Ustalenie węzłów kinematycznych osi obrotowych wrzeciona na frezarko-tokarce

Korzyści w postaci obniżenia kosztów na poziomie podstawowym procesu to:

- **Zwiększona dostępność obrabiarki** – unikanie nieplanowanego czasu przestoju poprzez obserwację tendencji zmian parametrów obrabiarki zanim pojawią się problemy.
- **Wzrost wydajności procesu** – zwiększona dokładność i powtarzalność pracy obrabiarek w połączeniu z ograniczeniem wpływu czynników środowiskowych i procesowych dają rezultat w postaci zmniejszenia zmienności czyli wzrostu zgodności.
- **Gwarancja jakości** - liczba braków, poprawek znacząco zmniejsza się.
- **Nacisk na działania proaktywne** – zwiększona stabilność procesu produkcji oznacza mniej czasu koniecznego, by zajmować się nagłymi problemami i więcej czasu, by skupić na długotrwałych ulepszeniach.
- **Podstawa dla automatyzacji** – posiadając obrabiarki działające na optymalnym poziomie, można śmiało podjąć kroki w kierunku dalszej automatyzacji procesu.

Przygotowanie procesu

Drugi poziom piramidy określa warunki uzyskania gotowości obrabiarki do pracy. Kontrola opierająca się na przewidywaniu ma za zadanie stawić czoło źródłom błędów w ustawieniach obrabiarki, przedmiotu, narzędzia i sondy, które w różnym stopniu są zawsze obecne i którymi należy się zająć, jeżeli pierwszy produkt serii ma być wykonany prawidłowo. Korzystając z ustabilizowania wpływu otoczenia uzyskanej na etapie tworzenia podstawy procesu, kontrola w zakresie przygotowania procesu pomaga wyeliminować błędy poprzez zautomatyzowanie procesów ręcznych.

Kontrola na etapie przygotowania procesu obejmuje:

- Często pomijane **sprawdzenie geometrii obrabiarki** polega na ustaleniu związku pomiędzy kluczowymi elementami ruchomymi obrabiarki (np. wrzecionem i łożem obrabiarki). Powszechnie znany jest wpływ zmian temperatury na wspomniane związki nawet w najbardziej stabilnych warunkach. Niepoprawione błędy geometrii obrabiarki mogą być dominującym czynnikiem niezgodności i prowadzić do wydłużonych czasów ustawiania, ponieważ ich efekty można łatwo pomylić z efektami charakterystycznymi dla innych źródeł zmienności procesu. Dobrą nowiną jest to, że błędy te można sprawdzić i wyeliminować poprzez prostą kontrolę wykonaną sondą na obrabiarce.
- **Kalibracja sondy** jest procesem uzgadniania cech wymiarowych sondy, aby mogła ona być użyta do wykonywania dokładnych pomiarów na maszynie. W przypadku sond pomiarowych obejmuje to pomiar wymiarów i pozycji trzpienia, zazwyczaj przy użyciu kuli wzorcowej lub pierścienia wzorcowego. W przypadku sond do ustawiania narzędzi, do ustalenia pozycji trzpienia lub wiązki lasera wykorzystywane jest narzędzie wzorcowe. Kalibracja sondy to regularna (zazwyczaj cotygodniowa) praktyka, która zapewnia niezawodność pomiarów.
- **Ustawianie przedmiotu** jest procesem, w którym ustalane jest jego położenie w układzie współrzędnych maszyny. Do znalezienia bazy wymiarowej i kątów używane są sondy stykowe, równocześnie robocze współrzędne są automatycznie uaktualniane. W bardziej skomplikowanych sytuacjach sonda może zebrać dane na temat zbioru punktów powierzchni, aby pakiet CAM mógł stworzyć odpowiednie ścieżki narzędzi.

Ustawianie przedmiotu obniża koszty stosowania specjalnych uchwytów oraz eliminuje potrzebę interwencji operatora i możliwość rozpoczęcia obróbki przy złych ustawieniach.

- Ostatnim zadaniem jest **ustawianie narzędzia**, podczas którego ustala się jego długość oraz średnicę, przechowywane następnie w pamięci sterowania CNC. Oznacza to, że dojazd narzędzia do przedmiotu może odbywać się bez konieczności podatnych na błędy ręcznych operacji. Jest to szczególnie ważne, ponieważ błędy wynikające z ręcznych ustawień narzędzi są głównym powodem kolizji w wielu zakładach.

Korzyści w postaci obniżenia kosztów na etapie przygotowania procesu to:

- Zautomatyzowane ustawianie przedmiotu oraz narzędzi **skraca czas ustawiania o 90%**
- Pomiary przy użyciu sond są **zautomatyzowane i bardziej powtarzalne** niż w metodach ręcznych
- Rzetelne ustawienie parametrów procesu oznacza **krótsze czasy przestoju** po rozpoczęciu produkcji
- W przypadku wymiany narzędzi, **ponowne ustawienie** jest szybkie i z mniejszą podatnością na błędy
- Wszystko to pozostawia **więcej czasu na produkcję**

Kontrola w trakcie procesu

Ta metoda usprawnienia produkcji jest zazwyczaj najmniej wykorzystywana, a jej znaczenie najłatwiej rozumiane.

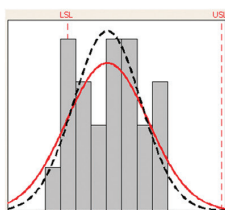
Proces kontroli na tym etapie stawia czoła źródłem zmienności nieodłącznym w każdym procesie obróbki, mianowicie zużyciu narzędzi oraz wpływowi zmian temperatury i przepływom ciepła. Wykonanie pomiarów na obrabiarce jest jedynym opłacalnym sposobem monitorowania wymiarów przedmiotu w trakcie obróbki, który równocześnie dostarcza informacji niezbędnej do podjęcia działań eliminujących niekorzystne efekty, bez konieczności zatrzymania obróbki. Rezultatem jest utrzymująca się w sposób ciągły, wysoka zdolność procesu, który nie wymaga stałego nadzoru i częstej ingerencji człowieka.

Zanim przejdziemy do dalszej części należy wyraźnie podkreślić, że skuteczna kontrola w trakcie procesu jest możliwa tylko, jeżeli rozwiązane są problemy z niższych warstw piramidy. Jeżeli podstawowe źródła zmienności w procesie produkcji nie są wyeliminowane, wówczas kontrola w trakcie procesu będzie ciężką próbą przeciwstawienia się przypadkowym wpływom, do walki z którymi nie jest ona przygotowana. Próba zautomatyzowania procesu w niekontrolowanym środowisku produkcyjnym i przy braku usprawnień i zachowaniu czynności ręcznych nieuchronnie zakończy się niepowodzeniem.

Jakie rodzaje kontroli obejmuje zatem ten poziom?

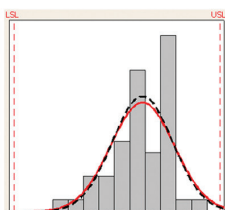
- Nie jest konieczny pomiar każdej cechy przedmiotu, który jest produkowany za pomocą tylko kilku narzędzi. Zalecane jest skupienie się na sprawdzeniu **podstawowych parametrów każdego narzędzia** (długość, średnica) stosując sondę przedmiotową i uaktualnienie offsetów narzędzi na podstawie pomiaru rezultatów obróbki.

Wyłączenie ustawienie parametrów procesu produkcyjnego



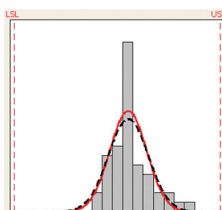
$C_{pk} = 0,32$
 $P_{pk} = 0,39$
 Braki/Poprawki = 12,1%

Ustawienie parametrów procesu produkcyjnego i kontrola poprodukcyjna



$C_{pk} = 0,83$
 $P_{pk} = 0,86$
 Braki/Poprawki = 0,5%

Ustawienie parametrów procesu produkcyjnego i kontrola w trakcie procesu



$C_{pk} = 1,64$
 $P_{pk} = 1,47$
 Braki/Poprawki = 0,0002%

60,000 razy mniej braków i poprawek!

Wyniki badań nad wydajnością procesu produkcji, przeprowadzonych w firmie Renishaw z wykorzystaniem tych samych części lecz odmiennych technik kontroli procesu. Przy zastosowaniu kontroli jedynie na etapie przygotowania procesu poziom braków jest niedopuszczalny a zdolność procesu słaba.

Monitorowanie poprodukcyjne daje ulepszone uśrednienie wymiarów i zmniejsza różnice pomiędzy częściami, ale zdolność procesu jest poniżej poziomu akceptowalnego dla większości firm.

Tylko nadzór zapewniający aktywną kontrolę nad procesem podczas jego trwania daje poziom wydajności, jaki firma Renishaw uznaje za akceptowalny i który pozwala na wydłużone okresy bezobsługowego działania.

Kontrola narzędzi po rozpoczęciu skrawania odbywa się więc pośrednio za pomocą sondy przedmiotowej, a nie sondy do ustawiania narzędzi, ponieważ bezpośrednio mierzony jest wynik skrawania - wymiar części uzyskany przy wykorzystaniu danego narzędzia.

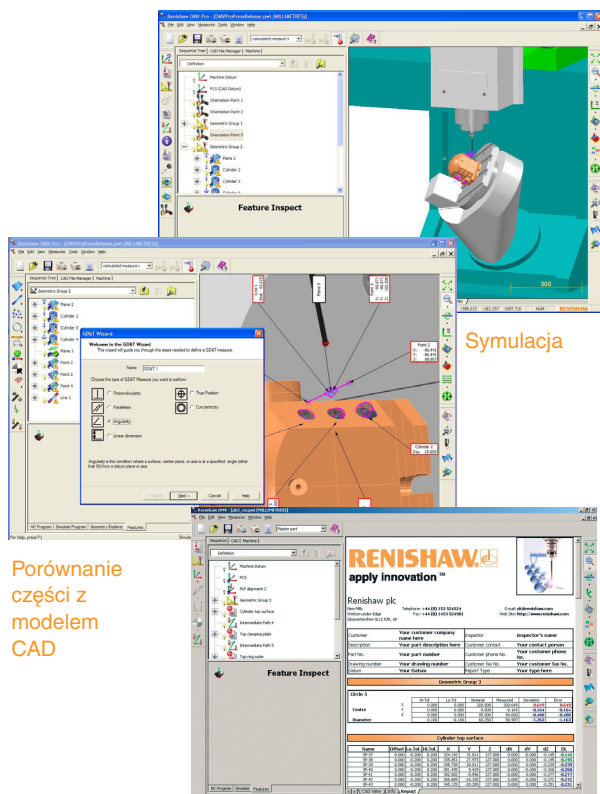
- **Kontrolowanie narzędzi z grubego skrawania**, a nie tylko wykańczających. Chociaż często niewzględniane przez inspekcję poprodukcyjną, narzędzia z grubego skrawania odgrywają ważną rolę, pozostawiając odpowiednią ilość materiału dla narzędzi wykańczających. Jeżeli nieprawidłowe są wartości zgrubne, wówczas różnić się będzie także głębokość skrawania wykańczającego, mająca wpływ na odchylenia narzędzia i wykończenie powierzchni.
- Regularne **monitorowanie dryftów cieplnych**, poprzez ponowną kalibrację pozycji wrzeciona, osi stołów obrotowych lub węzłów kinematycznych osi obrotowych, ma szczególne znaczenie przed decydującymi operacjami wykańczającymi.
- **Sprawdzanie uszkodzeń delikatnych narzędzi** po każdym cyklu skrawania, aby upewnić się, że jedno uszkodzone narzędzie nie spowoduje dalszych uszkodzeń narzędzi i części. Podwyższa to poziom zaufania do procesu bezobsługowego.
- **Wprowadzenie elementów logiki do programu**, tak aby reagował na niespodziewane sytuacje. Jeżeli wymiar jest poza tolerancją, pozostał naddatek, wówczas program powinien zarządzić ponownie skrawanie wykańczające. W sytuacji uszkodzenia narzędzia konieczne jest umożliwienie automatycznej zamiany na narzędzie bliźniacze lub poinformowanie operatora. Nie należy reagować na negatywny wynik od razu – należy wyczyścić przedmiot i ponownie zmierzyć, aby upewnić się, że pomiar nie jest dokonywany na powierzchni pokrytej wiórami.
- **Monitorowanie statusu procesu i informowanie operatora** w razie wystąpienia błędu.
- Przechowywanie wyników pomiarów wykonywanych w trakcie procesu oraz zmian offsetów na użytek późniejszej **analizy**.

W wielu przypadkach kontrola w trakcie procesu może przynieść największe oszczędności w porównaniu z innymi warstwami piramidy, szczególnie jeżeli proces charakteryzuje się dużym zużyciem narzędzi oraz wydłużonym czasem cyklu:

- **Obniżone koszty inwestycyjne** – zwiększenie wydajności bez konieczności inwestowania w nowe maszyny
- **Zwiększona automatyzacja** – obniżenie bezpośrednich kosztów obsługi maszyn oraz bezproduktywnego czasu przestoju obrabiarek
- **Zmniejszona liczba błędów człowieka** – powtarzalne pomiary i automatyczny nadzór procesu
- **Mniejsza liczba braków i poprawek** – mniejsza zmienność, wyższa wydajność procesu i jakość „za pierwszym podejściem”

Monitorowanie poprodukcyjne

Procesy kontroli na szczycie piramidy są często wykorzystywane przez firmy, ponieważ umożliwiają ostateczną ocenę wyników procesu. Weryfikację można przeprowadzić na obrabiarce za pomocą sondy, przy użyciu czujnika zegarowego lub ramion pomiarowych, a także na maszynie współrzędnościowej. Tego rodzaju kontrola nie wpływa na jakość wykonania części chyba, że proces przewiduje dalszą obróbkę.



Symulacja

Porównanie części z modelem CAD

Raportowanie

Oprogramowanie do pomiarów na obrabiarce

Kontrola w fazie monitorowania poprodukcyjnego to:

- **Proces weryfikacji na obrabiarce** za pomocą sondy, w celu zmierzenia wymiarów geometrycznych przedmiotu, podczas gdy jest on wciąż zamocowany na obrabiarce. Sprawdzenie części przed jej przekazaniem do dalszej obróbki, a tym samym weryfikacja czy proces przebiegł zgodnie z oczekiwaniami dają pewność zgodności wymiarów z wymaganiami przed dalszymi operacjami. Posiada to szczególne znaczenie przy produkcji dużych i kosztownych części. Możliwe jest także wykonanie kontroli typowej dla maszyn współrzędnościowych, obejmującej pomiar wielkości geometrycznych, chociaż dokładność i weryfikowalność pomiarów na obrabiarce będą niższe niż na CMM w warunkach laboratoryjnych. Ponadto długość cyklu pomiaru na maszynach współrzędnościowych wyposażonych w najnowsze technologie pomiarowe będzie zazwyczaj krótsza.
- **Weryfikacja części poza linią produkcyjną** obejmuje pomiary, zazwyczaj przy użyciu maszyny pomiarowej. Zaletą tego rozwiązania w porównaniu z pomiarem na obrabiarce jest zastosowanie technologii skanowania w 3 i 5 osiach, które umożliwiają szybsze i bardziej wszechstronne pomiary skomplikowanych kształtów, a także uzyskanie złożonych analiz i raportów. Aby zapewnić wysoką dokładność pomiaru, maszyny współrzędnościowe pracują zazwyczaj w warunkach laboratoryjnych, poza halą produkcyjną. Wadą tego rozwiązania jest spowalnianie przepływu informacji dotyczącej wyników produkcji. Dane na temat pomiarów mogą być także przechowywane na użytek analiz poprodukcyjnych.

Nowe rozwiązania w zakresie technologii skanowania w 5 osiach, takie jak REVO® oferują znaczną oszczędność kosztów w porównaniu z konwencjonalnymi technikami pomiarowymi:

- Znacznie szybsze pomiary oznaczają możliwość uzyskania **większej ilości danych** bez utraty dokładności
- **Obniżenie kosztu obsługi maszyn** w wyniku pełnej automatyzacji skomplikowanych pomiarów
- **Dostępność wielu sond** umożliwia automatyzację również innych procesów takich jak pomiar jakości wykończenia powierzchni

- **Funkcjonalność** wynikająca z możliwości pomiaru cech przedmiotu przymując dowolną orientację kątową
- **Niższe nakłady inwestycyjne** w wyniku skrócenia czasu cykli pomiarowych i ograniczenia potrzeby zakupu stołów obrotowych

Przykłady obniżenia kosztów

Przyjrzyjmy się przykładom wpływu zalecanych tu technik na proces kontroli procesu obróbki. W niniejszej analizie przypadku zajmijmy się częścią produkowaną przez przemysł lotniczy:

DANE PRODUKCYJNE

Koszt zakupu obrabiarki	£500 000	za obrabiarkę
Koszt zakupu CMM	£120 000	za CMM
Okres amortyzacji	10	lat
Stawka za godzinę pracy obrabiarki	£75	za godzinę
Stawka za godzinę pracy współrzędnościowej maszyny pomiarowej	£75	za godzinę
Planowany czas	120	godzin/tydz
Obsada stanowiska operatora obrabiarki	1,0	operator na zmianę, na maszynę
Obsada stanowiska operatora CMM	1,5	operatora na zmianę, na CMM
Koszt zatrudnienia operatora	£35 000	na operatora w skali roku
Koszty materiałów	£5 000	za część
Czas cyklu skrawania	30,0	godzin
Czas przeznaczony na poprawki	2,0	godziny
Czas cyklu CMM	7,0	godzin
Ilość obrabiarek na jedną CMM	2,0	obrabiaarki na jedną CMM
Koszta poprawek na produkt	£500	koszty dodatkowe maszyny

Aktualne wskaźniki procesu, wyznaczone za pomocą metody Całkowitej Efektywności Sprzętu, zgodnie z którą jakość określa się na podstawie udziału części wykonanych poprawnie przy pierwszym podejściu, są następujące:

Produktywność		
Aktualne CES	53,0%	
Dostępność	85,0%	
Wydajność	80,0%	
Jakość	78,0%	Jakość przy pierwszym podejściu
Udział poprawek	10,0%	
Udział braków	2,0%	w tym części poddane poprawkom
Udział dopuszczeń warunkowych	10,0%	w tym części poddane poprawkom

na podstawie powyższych danych możemy obliczyć liczbę części produkowanych każdego roku, liczbę braków, poprawek i dodatkowe koszty dopuszczeń warunkowych.

Produkcja przypadająca na obrabiarkę	
Części przetworzone	141
Części po poprawkach	14
Braki	3
Dopuszczenia warunkowe	14
Części spełniające wymogi	124
Części dostarczone	138

Przychód oblicza się poprzez pomnożenie liczby części dostarczonych (w tym części zaakceptowanych pomimo braku pełnej zgodności z wymaganiami) przez standardową liczbę godzin i stawkę za godzinę. Aby obliczyć „zysk” zapewniany przez obrabiarkę (uwaga - liczba ta nie obejmuje kosztów części zużywalnych i innych kosztów zmiennych) należy od liczby tej odjąć koszty siły roboczej, amortyzację i koszty jakości.

Analiza zysku na obrabiarkę w skali rocznej	
Wartość dodana	£309 810
Koszty operatora obrabiarki	£105 000
Koszty operatora WMP	£78 750
Koszty amortyzacji	£56 000
Koszty braków	£14 050
Koszty części dopuszczonych warunkowo	£7 025
Amortyzacja dodatkowych inwestycji	£0
Zysk w skali rocznej	£48 984

Co stanie się więc z wynikami procesu i zyskiem, jeżeli wprowadzimy kontrolę na każdym poziomie piramidy? We wszystkich poniższych przykładach założono, że jakiegokolwiek dodatkowe możliwości produkcyjne zostaną wykorzystane do produkcji dodatkowej liczby części, odraczając dalsze wydatki inwestycyjne.

Podstawa procesu

- Dzięki wyższej niezawodności obrabiarki jej dostępność wzrasta do 90%
- Wydajność wzrasta o 5% ze względu na mniejszą liczbę nieplanowanych przestoju będących konsekwencją braku kontroli procesów przygotowawczych lub czynników środowiska
- Dzięki ulepszonej dokładności obrabiarki jakość wzrasta o 25%
- Poziom obsady stanowisk pozostaje bez zmiany

Przygotowanie procesu

- Dostępność nadal wynosi 90%
- Wydajność wzrasta do 90% ponieważ czasy ustawiania stają się krótsze i bardziej przewidywalne
- W porównaniu z poprzednim poziomem piramidy o połowę zmniejsza się liczba błędów w jakości, ponieważ dzięki zautomatyzowanemu, powtarzalnemu ustawianiu wzrasta poziom sukcesu przy pierwszym podejściu
- Poziom obsady stanowisk zmniejsza się, ponieważ skracają się czasy ustawiania

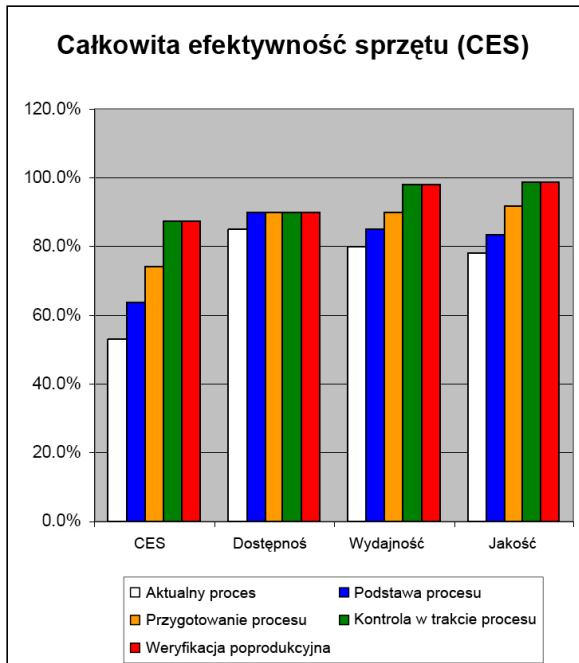
Kontrola w trakcie procesu

- Dostępność nadal wynosi 90%
- Wydajność wzrasta do 98%, ponieważ nieplanowane przestoje i czas oczekiwania na operatorów zostały skrócone dzięki wprowadzeniu automatycznego sprzężenia zwrotnego między pomiarami a parametrami obróbki
- Jakość wzrasta do 99% lub więcej, ponieważ właściwe dla procesu źródła zmienności pozostają pod kontrolą
- Poziom obsady stanowisk zostaje obniżony, ponieważ wyeliminowana została potrzeba interwencji operatorskich

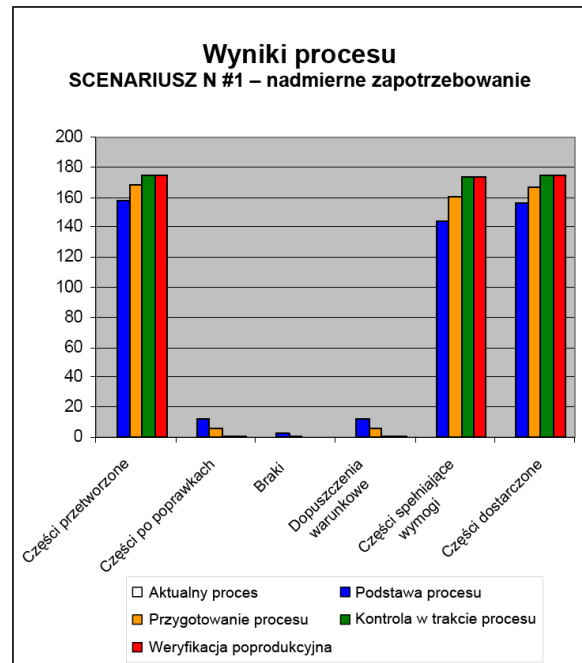
Monitorowanie poprodukcyjne

- Dostępność, wydajność i jakość nie ulegają zmianie
- Liczba obrabiarek przypadających na jedną maszynę pomiarową wzrasta, ponieważ dzięki zastosowaniu nowej technologii pomiary są krótsze, a maszyna może być wykorzystywana do bardziej zróżnicowanych zadań
- Wkład pracy operatorów CMM zostaje zmniejszony w wyniku większej automatyzacji

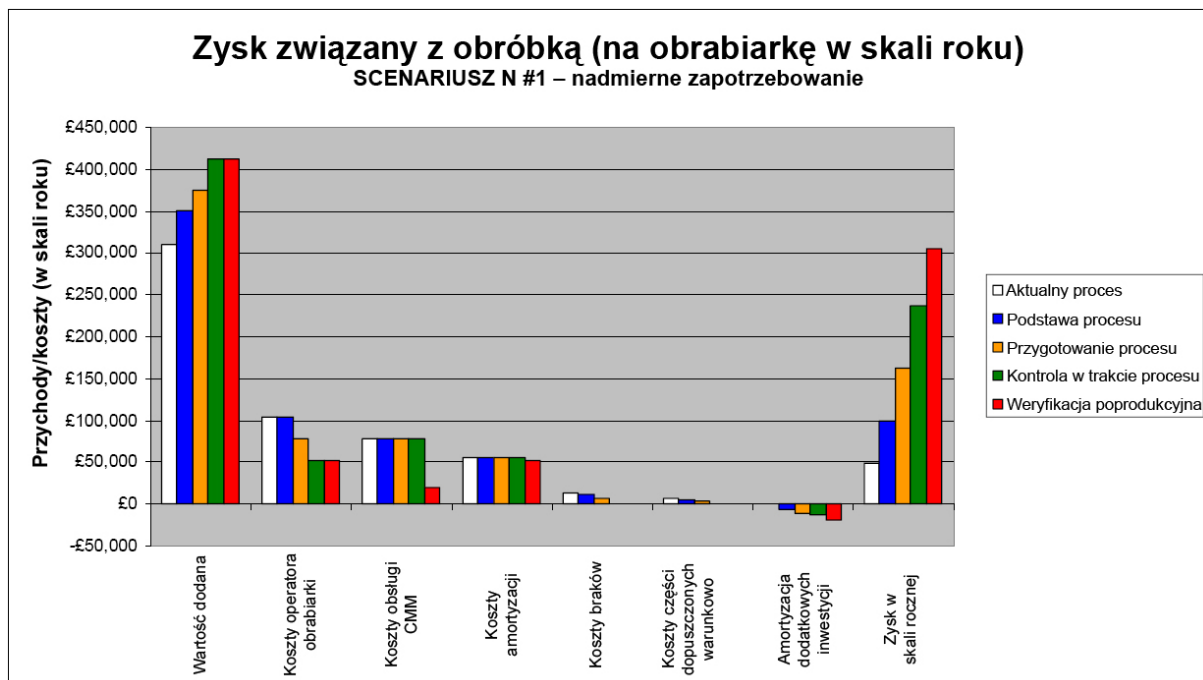
Poniższy wykres przedstawia zmiany w poziomie składowych CES* wynikające z zastosowania kontroli na czterech poziomach Piramidy:



Poniższy wykres przedstawia liczbę części przetworzonych w procesie, a także poziom poprawek, braków i dodatkowych kosztów:



Poniższy wykres podsumowuje przychody, koszty i zysk, jakie maszyna generuje w ciągu roku na różnych poziomach kontroli procesu. Całkowita korzyść z wprowadzenia kontroli na wszystkich czterech poziomach piramidy wynosi ok. £250 tys. rocznie, co stanowi równowartość połowy kosztu obrabiarki każdego roku!



Podsumowanie i zalecenia

Piramida produktywności procesu (Productive Process Pyramid™) zapewnia systematyczną redukcję zmienności w procesie obróbki. Bez konieczności dokonywania fundamentalnych zmian w procesie obróbki, wprowadzenie kontroli procesu może przynieść znaczne oszczędności, dzięki automatyzacji i niższym kosztom jakości. Poziom inwestycji wymaganych do wprowadzenia opisanej tu kontroli jest stosunkowo niski i powinien się zwrócić w ciągu kilku miesięcy. Wyeliminowanie zmienności w procesie zwiększy także zwroty z jakichkolwiek przyszłych inwestycji kapitałowych.

Zadania kontroli przedstawione w koncepcji Piramidy powinny być wdrożone począwszy od samego dołu, ponieważ każdy poziom opiera się na korzyściach uzyskanych w niższych warstwach, co pozwala stopniowo redukować wpływ zmienności procesu. Kontrola typowa dla podstawy procesu wprowadzona na szeroką skalę jest doskonałym punktem wyjścia do dalszych usprawnień takich jak zautomatyzowane pomiary na etapie przygotowania procesu. Aktywna kontrola parametrów procesu zależy od jego specyfiki i rozsądnym byłoby zastosować ją w

przypadku podobnych procesów dla pozostałych obrabiarek w zakładzie. Jeżeli każda obrabiarka jest inna, wprowadzenie tego rodzaju kontroli może być czasochłonne. W takim przypadku zalecanym podejściem jest ujednoczenie rodzajów maszyn i szerokie wprowadzenie nowych metod.

Zastąpienie pomiarów na maszynie współrzędnościowej pomiarami na obrabiarce nie jest zazwyczaj najlepszą strategią. Podstawowym celem obrabiarki jest wytwarzanie części i weryfikacja na obrabiarce powinna skupiać się na dopiero co zakończonym procesie obróbki, a nie sprawdzaniu każdej cechy przedmiotu. Inspekcja na obrabiarce ma największy sens w przypadku dużych i skomplikowanych części, gdzie odpowiednia pomiary poza obrabiarką są niemożliwe (np. gabaryty przedmiotu) oraz gdy czas potrzebny do przetransportowania części i związany z nim koszt są wysokie. Należy zwrócić uwagę na dokładność pomiarów wykonywanych na obrabiarce, a szczególnie na wpływ zmian temperatury. W większości przypadków maszyna pomiarowa wykorzystująca techniki szybkiego skanowania jest najbardziej oszczędnym sposobem weryfikacji geometrii komponentów i poprawności wykończenia powierzchni.

Pytania dotyczące poziomu produktywności i kosztów są w centrum zainteresowania wielu firm. Zastosowanie przedstawionych w koncepcji piramidy rodzajów kontroli jest zalecaną strategią, która nie wymaga dużych nakładów finansowych, a równocześnie zapewnia silną pozycję Twojej firmy w sytuacji poprawy koniunktury.



Technologia skanowania w 5 osiach rewolucjonizuje inspekcję na maszynach pomiarowych