

SYSTEM SIX SIGMA – STUDIUM PRZYPADKU

Iwona WOSIK, Marcin ZDONEK

Streszczenie: W artykule przedstawiono koncepcję systemu Six Sigma, który jest systemem zarządzania dostarczającym narzędzi statystycznych do kontroli procesu i wdrażania usprawnień. System Six Sigma zmienia sposób zarządzania firmą, gdzie zrozumienie wymagań klienta staje się kluczowym elementem funkcjonowania przedsiębiorstwa. W artykule rozwiązano problem minimalizacji grubości produkowanych tafli szklanych. Do wdrożenia usprawnień zastosowano model DMAIC, który jest normą w systemie Six Sigma.

Słowa kluczowe: Six Sigma, techniki QFD, model DMAIC, zarządzanie przedsiębiorstwem.

1. Wstęp

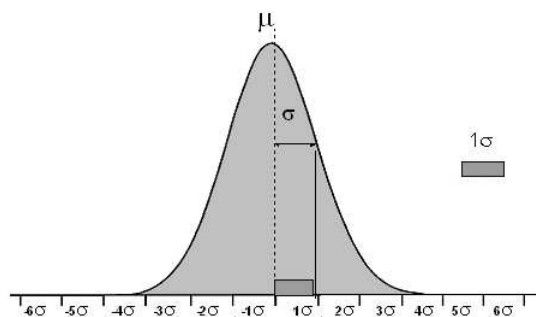
Otoczenie przedsiębiorstwa w XXI wieku charakteryzuje się dużą zmiennością oczekiwań klientów. W warunkach konkurencyjnego rynku przedsiębiorstwa zabiegają o klienta. W artykule zaproponowano system Six Sigma jako sposób na dogłębne zrozumienie potrzeb potencjalnych klientów, zdyscyplinowane wykorzystanie faktów, danych, analizy statystycznej w celu ulepszenia i kreowania procesów biznesowych. Wdrożenie systemu Six Sigma pozwala na oszczędność, szybki wzrost wartości firmy i wprowadzenie nowych silnych relacji z klientami, co w efekcie może doprowadzić do osiągnięcia przewagi konkurencyjnej. System Six Sigma można wykorzystać nie tylko do mierzenia rezultatów osiąganych przez firmę i do analizy jej rozwoju, jak również do zmiany sposobu zarządzania firmą.

Six Sigma zdefiniowana jest jako metoda mierzenia procesów; sposób na osiągnięcie celu bliskiego perfekcji - 3,4 wad na milion możliwości (ang.: DPMO, Defects per Milion Opportunities); idea, która zmienia kulturę organizacji. Sześć sigm oznacza odległość sześciu odchyłeń standardowych między linią centralną procesu a najbliższą granicą specyfikacji (Rys. 1). Celem jest zmniejszenie liczby defektów do 3,4 defektów na milion okazji [3].

Six Sigma jest to pomysł, z którego można wybrać i wykorzystać wiele wartościowych praktyk biznesowych, do których można zaliczyć ciągłe ulepszanie, masową komunikację, systemy planowania, zarządzanie na podstawie czynności [3]. Six Sigma może być interpretowana jako:

- 6σ = filozofia zarządzania - ukazuje system usprawniania i kontrolowania jakości,
- σ = możliwości procesu - służy jako miara do określania wadliwości procesów i zdolności procesu do spełniania wymagań klientów,
- σ = odchylenie standardowe - charakteryzuje miarę zmienności [3].

W artykule zaproponowano podejście oparte na Six Sigma jako sposób zarządzania przedsiębiorstwem.



Rys. 1. Wykres rozkładu normalnego [3]

W rozdziale 2 opisano przedsiębiorstwo jako system zamknięty, w skład którego wchodzi procesy, których poziom działania powinien być kontrolowany i który wpływa na jakość produktu. Rozdział 3 opisuje Six Sigmę jako odchylenie standardowe, które jest miarą wykorzystywaną do zrozumienia poziomu działania systemu oraz występujących w nim procesów. Rozdział 4 opisuje etapy postępowania we wdrożeniu usprawnień z wykorzystaniem systemu Six Sigma. W rozdziale 5 przedstawiono przykład praktyczny zastosowania systemu Six Sigma we wdrożeniu usprawnień w procesie nadania wstędy szkła odpowiedniej grubości. W rozdziale 6 podsumowano zakres dokonanych usprawnień.

2. System zamknięty

Każda firma bazuje na systemie zamkniętym, w skład którego wchodzi wiele procesów. W systemie informacje wewnętrzne, jak i zewnętrzne pokazują, jaką firmę ma obrać drogę do sukcesu. Do systemu wpływają elementy – zmienne (półprodukty, materiały, zamówienia, konkurenci), oraz wypływają (klienci, produkty końcowe czy też zyski). Części składowe zarówno elementów wejściowych, zmiennych procesu jak i samego procesu - są czynnikami, które wpływają na zmianę poziomu działania na wyjściu Y , $Y=f(x)$ [2,3]. Aby zrozumieć system zamknięty, należy:

- zidentyfikować, który z x -ów najbardziej wpływa na wyniki - Y ;
- wykorzystać zmiany zachodzące na poziomie działania procesu do dostosowania firmy i utrzymania jej na zyskowej ścieżce [2].

Firma może wówczas automatycznie reagować na sygnały i bodźce wysyłane przez proces, dostawców, pracowników, a przede wszystkim przez klientów oraz konkurencję, i tym samym osiągać nowy poziom rozwoju [2, 3].

3. Odchylenie standardowe i eliminowanie liczby zmiennych

W celu zrozumienia prawdziwego poziomu działania systemu oraz występujących w nim procesów wykorzystuje się odchylenie standardowe. Odchylenie standardowe oznacza wartość zmienności i niespójności w grupie przedmiotów czy procesów [3]. Firmy, które przedstawiają swoje osiągnięcia za pomocą słowa „średni” (średni koszt, średni czas produkcji) nie uwzględniają odchylenia standardowego. Takie podejście zniekształca

„obraz” systemu i ukrywa problemy [1,3]. Klient nadal odczuwa odchylenie standardowe czyli wartości które nie spełniają jego specyfikacji. Dlatego konieczne jest zrozumienie i zlokalizowanie odchylenia standardowego. Celem, jaki wyznacza Six Sigma jest zawężenie przedziału odchylenia do takiego stopnia, że sześć Sigma - albo odchylenie standardowe - zostanie ograniczone do poziomu wymagań klientów [2].

Pierwszym krokiem jest dokładne zdefiniowanie potrzeb klienta CTQ - ważne dla jakości (ang.: critical to quality), czyli najistotniejsze wyniki Y systemu. Kolejny krok, to obliczenie liczby rozpoznanych wad, kiedy proces czy produkt nie spełniają wymagań klientów. Licząc wady i dostosowując je do próbki liczącej milion, można policzyć stopę procesu (udział danych bez wad w próbce) oraz określić poziom Sigma [2,4]. Poziom rozwoju Sigma wyrażany jako liczba wad na milion możliwości DPMO (ang.: Defects per Million Opportunities). DPMO opisuje liczbę błędów, która wystąpi, gdyby daną czynność powtórzy się milion razy. Przykładowo: 72 błędy w dokumentacji technologicznej wymaga dziennie korekty = $4\sigma = 6.210 \text{ DPMO} = 99.35\%$.

Celem jest uzyskanie 99,9997-procentowej doskonałości, czyli 3.4 wad na milion możliwości (3,4 DPMO), czy też 6σ . Wskaźniki Six Sigmy tworzą wspólny język pomiarów, który jest czytelny i zrozumiały w każdej organizacji [4,6]. Celem jest ulepszanie procesu poprzez odszukanie problemów, nie zmieniając przy tym podstawowej struktury procesu. W systemie Six Sigma ważne jest odszukanie czynników (x-ów), które powodują problem (y-ów). Firma ukierunkowana jest na ciągłe nadzorowanie zmiany potrzeb klientów, wdrażając system Six Sigma, uzyskuje się dynamiczny system pomiaru poziomu działania oparty na bieżących potrzebach klientów.

4. DMAIC - model ulepszeń systemu Six Sigma

Model DMAIC - zdefiniuj, zmierz, analizuj, usprawniaj i kontroluj (Ang.: Define-Measure-Analyze-Improve-Control), umożliwia zarządzanie zmianami oraz ulepszeniami w firmie. Pięciofazowy cykl doskonalenia jest normą w systemie Six Sigma [5]:

Krok I - **definiowanie kluczowych czynności oraz zrozumienie struktury systemu** - pozwala poznać działanie systemu. Celem jest opracowanie przejrzystego obrazu najbardziej krytycznych czynności (procesów) w organizacji oraz określenie ich relacji z zewnętrznymi klientami. W tym celu sporządza się mapę czynności dostarczających w organizacji wartość klientom. Analizując mapę można uzyskać odpowiedzi na pytania:

- Które z procesów są najważniejsze lub dostarczają wartość klientom?
- Jakie produkty lub usługi firma dostarcza klientom?
- Jak procesy „płyną” przez organizację?

Krok II - **zdefiniowanie wymagań klientów** - ma na celu ustalenie standardów poziomu działania, bazujących na informacjach o bieżących potrzebach klientów. Dokładne zmierzenie skuteczności (możliwości) procesu, prognozowanie satysfakcji klientów oraz zbierania danych – tzw. „głos klienta” stanowią podstawę systemu efektywnego zarządzania.

III krok - **pomiar obecnego poziomu działania** - pozwala zrozumieć obecny i prognozowany sposób zaspakajania wymagań klienta. Mierzenie rozwoju skoncentrowane na kliencie daje podstawy do stworzenia efektywnego systemu oceny. Wszystkie procesy muszą być mierzone wg kryteriów oceny wynikających z wymagań klientów. Kluczowe czynniki wpływające na efekt końcowy powinny być stale mierzone. Jednym z pomiarów poziomu działania obecnego procesu (efektu końcowego) jest „sigma” procesu, która pozwala porównać różne procesy. System oceny powinien również analizować wskaźniki

efektywności procesów, takie jak: koszt jednostkowy, zużycie materiałów i energii, poprawki, itp. Może się okazać, że firma posiada zadowolonych (usatysfakcjonowanych) klientów, a zarazem przeprowadza zupełnie nieefektywne operacje. Wynikiem takiej formuły jest brak zysku. Krok III umożliwia poznanie zmian na poziomie działania procesów w firmie oraz szybką reakcję na sygnały ostrzegawcze oraz pojawiające się szanse. Wiedza osiągnięta dzięki tym wskaźnikom pozwala na podjęcie decyzji o najpilniejszych i najważniejszych ulepszeniach.

Celem kroku IV - **uszeregowanie, analiza oraz wdrożenie usprawnień** - jest zidentyfikowanie możliwości ulepszeń oraz zaproponowanie rozwiązań problemów. Kryteriami oceny potencjalnych możliwości rozwiązania problemów jest ich wpływ na organizację i wykonalność. Nowe zadania i przepływy pracy mają zaspakajać wymagania klientów, redukować koszty, uwzględniać nowe technologie, zwiększać prędkość procesów lub ich dokładność.

Celem kroku V - **rozszerzenie oraz integracja systemu Six Sigma** - jest wdrożenie metod działania polegających na ciągłej poprawie poziomu działania, które zapewniają ciągle mierzenie, przeglądanie, sprawdzanie, odnawianie produktów, usług, procesu, procedur.

Kolejny rozdział opisuje zastosowanie modelu DMAIC do usprawnienia procesu wytwarzania szkła metodą float.

5. Studium przypadku

Produkcja metodą float, pozwala na wytwarzanie szkła o grubości od 0,4 do 25 mm. Surowce są topione w piecu ceramicznym, gdzie osiąga się temperaturę 1600°C. Płynne szkło o temperaturze około 1000°C jest nieustannie wylane z pieca do płytkiej wanny z płynną cyną, w atmosferze o kontrolowanym składzie chemicznym. Szkło płynie po cynie i rozlewa się uzyskując płaską powierzchnię. Grubość kontrolowana jest przez dobór prędkości, z jaką uformowana wstęga szklana wypływa z wanny float, oraz poprzez specjalne urządzenia do formowania szkła. Po nadaniu odpowiedniej grubości, szkło trafia do odprężarki tunelowej, gdzie po schłodzeniu jest cięte na tafle o rozmiarach określonych przez klienta.

Celem jest zminimalizowanie grubości wyprodukowanych tafli szklanych tak, aby grubość była jak najbliższa dolnej granicy specyfikacji klienta przy jednoczesnym zachowaniu stabilności procesu. Celem jest optymalizacja grubości szkła 7mm, gdzie tolerancja grubości specyfikacji klienta wynosi $\pm 0,2$ mm. Do procesu doskonalenia i wdrażania usprawnień zaproponowano model DMAIC. Poniżej opisano tok postępowania w kolejnych etapach DMAIC.

5.1. Identyfikacja kluczowych procesów i klientów

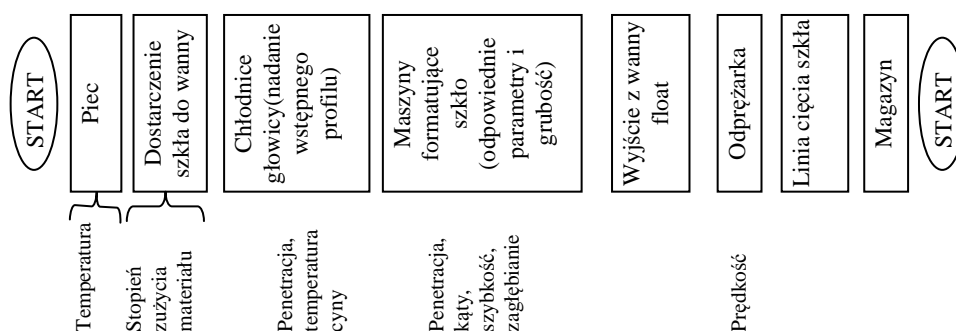
Etap definiowania rozpoczęto od sporządzenia karty projektu gdzie, określono nazwę projektu, opisano problem oraz cel jaki projekt wyznacza. Zdefiniowano zakres projektu. Określono definicje defektu. Dla grubości 7 mm, wadą jest grubość wykraczająca poza granice $6,82 < x < 6,85$. Zdefiniowano głównych klientów procesu „nadawania wstędze szkła odpowiedniej grubości”. Najważniejszym klientem jest dział finansowy i wysyłka, ponieważ oni czerpią bezpośrednio korzyści z zaoszczędzonych surowców. „Głos klienta” to zmniejszenie grubości szkła i utrzymanie jej na stałym poziomie bez wpływu na wydajność procesu. Dla „głosu klienta” określono dwa czynniki krytyczne dla jakości

(ang.: CTQ – Critical to Quality), czyli przedziały wartości dla grubości tafli szkła, po przekroczeniu których wyrób nie spełnia wymagań klienta. W fazie definiowania opracowano również diagram SIPOC (ang.: Supplier, Input, Process, Output, Customer) (tab. 1) dla procesu, gdzie określono dostawców różnych podprocesów, wkład, jaki dostarczają do procesu – wejścia procesu, efekt procesów- wyjścia procesu, klienta końcowego. Diagram ten wykorzystywany jest do przedstawienia przepływu pracy.

Tab. 1. SIPOC badanego procesu

| Dostawca | Wejście (co) | Proces (podproces) | Wyjście (co) | Klient |
|--------------|-------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------|
| Piec | Stopione szkło | Dostarczenie płynnego szkła | Stopione szkło | Wanna float |
| Wanna float | Stopione szkło | Formowanie wstęgi szkła | Uformowana wstęga szkła | Odpęczarka |
| Odpęczarka | Uformowana wstęga szkła | Odpęczanie wstęgi szkła | Zeskładowane tafle szkła | Linia cięcia |
| Linia cięcia | Odpęczona wstęga szkła | Wykrywanie wad, cięcie, składowanie | | Magazyn |

Na podstawie diagramu SIPOC sporządzono mapę procesu (Rys. 2). Opracowanie mapy procesu i diagramu SIPOC pozwala dokładnie poznać strukturę procesu oraz określić miejsca ewentualnych zatorów, błędów lub wykonywania czynności nieprzynoszącej produktowi wartości dodanej.



Rys. 2. Szczegółowa mapa procesu

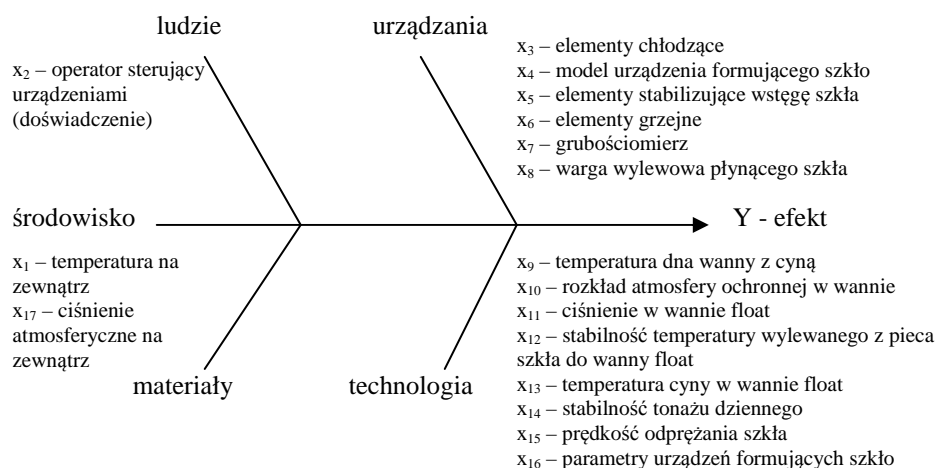
Za pomocą diagramu przyczynowo-skutkowego podczas „burzy mózgów” wybrano wszystkie możliwe przyczyny problemu - x. Dzięki nim w etapie analizy można lokalizować przyczynę, która najbardziej wpływa na powstanie problemu. Główne zmienne składowe x, które wpływają na wyjście procesu Y wymienione są na diagramie (Rys. 3).

5.2. Pomiar

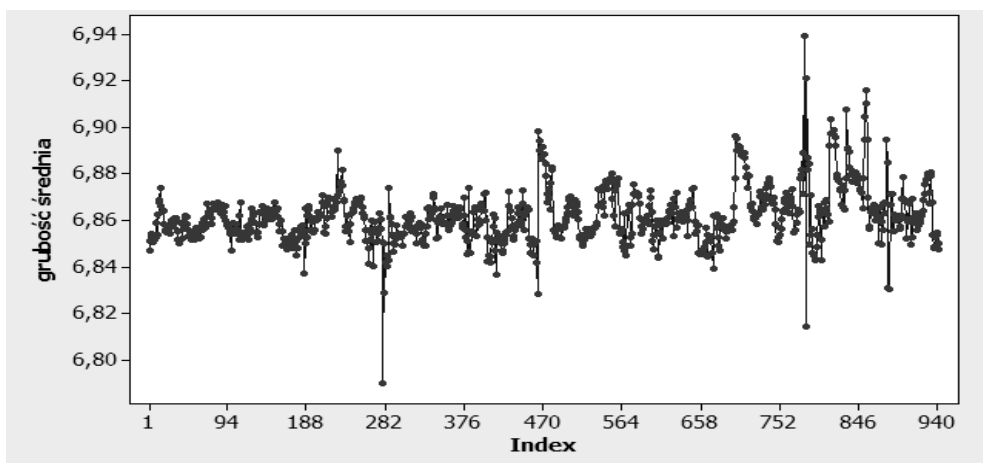
W drugim etapie projektu DMAIC sporządzono plan zbierania danych w celu określenia: jakie dane będą zbierane, z jakich źródeł oraz z jaką częstotliwością. Wyznaczono osoby odpowiedzialne za zbieranie pomiarów.

Dla pomiaru Y czyli wyjścia procesu – grubości szkła, wielkość próbki wynosi 1 pomiar na godzinę w 33 punktach na szerokości tafli, z której wyliczano średnią. Średnia z pomiarów wynosi $\bar{x}=6,86$. 95% wszystkich pomiarów znajduje się pomiędzy górnym i dolnym limitem kontrolnym. Poziom wadliwości wynosi 58100 DPMO, czyli 3,36 Sigma, natomiast docelowy poziom określono na 6210 DPMO, co odpowiada wskaźnikowi 4 Sigm.

Zebrano pomiary wszystkich średnich godzinowych grubości tafli szkła wyprodukowanych w ciągu 1 miesiąca (Rys 4). Otrzymano wykres czasu, który wskazuje na dużą zmienność procesu. Według takiego samego klucza, czyli średnich godzinowych, zbadano wszystkie zmienne x procesu. Ważne jest, aby przyjąć taki sam interwał czasowy dla wszystkich danych, co czyni je porównywalnymi.



Rys. 3. Diagram przyczynowo-skutkowy

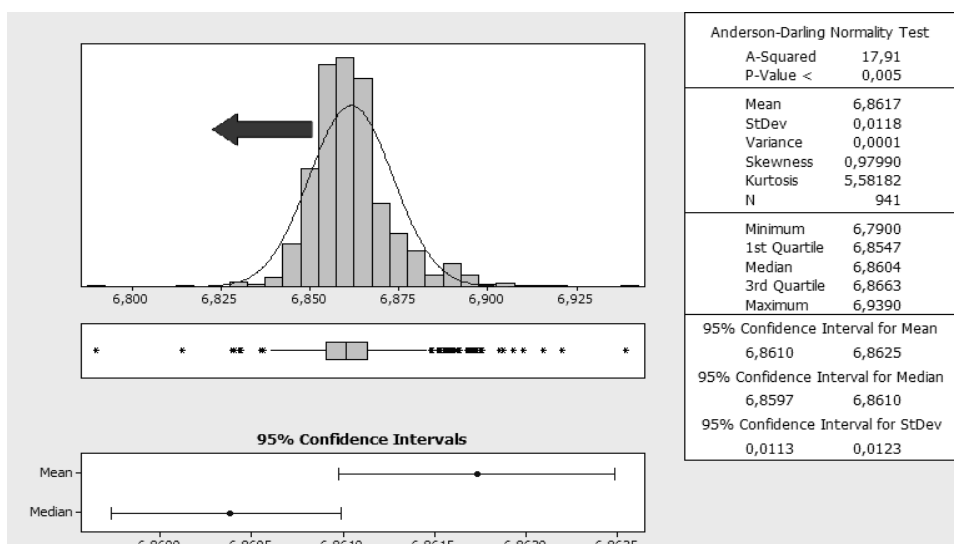


Rys. 4. Zestawienie pomiarów grubości tafli

5.3. Analiza

Analiza polega na porównywaniu zmiennych x procesu do wyjść procesu y w celu określenia zależności. Do przeprowadzenia analiz zastosowano program Minitab Minitab® Statistical Software.

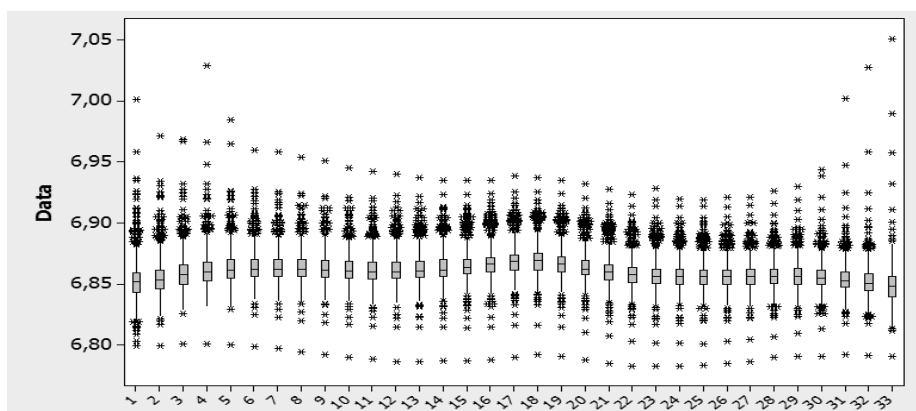
Pierwszym krokiem analizy jest sprawdzenie czy dane mają charakter rozkładu normalnego (widoczny kształt histogramu) (rys. 5), następnie wyciągnięto średnią z pomiarów grubości $Y=6,86$ oraz odchylenie standardowe = $0,0118$. W celu pominięcia odchyłek wywołanych przez błędy pomiarowe określono interwały 95% pewności danych dla średniej arytmetycznej, mediany i odchylenia standardowego. Istotną rzeczą przy określaniu dolej granicy „nowej tolerancji” dla produkowanych grubości jest określenie wartości dla 1 i 3 kwantyla. Bazując na zebranych informacjach można określić stopień przesunięcia danych (zgodnie ze strzałką) do wartości bezpiecznej, tak, aby kontrolować proces i wyeliminować odchylenia. Podczas etapu doskonalenia należy jak najbardziej „zawęzić” rozkład normalny, aby minimum i maksimum grubości było jak najbliżej średniej. Będzie to świadczyć o stabilności procesu.



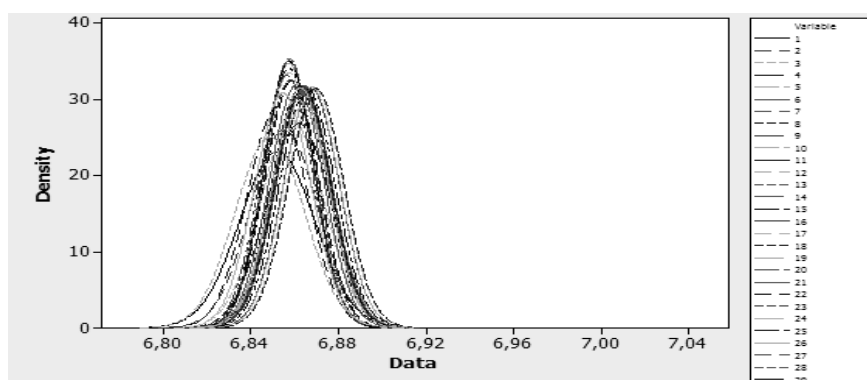
Rys. 5. Histogram dla Y procesu – grubości średniej szkła

Na rys. 6 przedstawiono grubość w mm dla 33 punktów rozmieszczonych wzdłuż wstęgi. Stwierdzono, że grubość na przekroju poprzecznym wstęgi nie jest identyczna na całej długości. Określono, że przyczyną takiego stanu rzeczy jest różna moc grzałek rozmieszczonych wzdłuż wstęgi w wannie float.

Histogram 33 punktów na przekroju poprzecznym wstęgi (Rys. 7) przedstawia rozkład normalny dla każdego z tych punktów. Można zaobserwować, w jakich punktach wstęga szkła ma największą grubość, a w jakich grubość wychodzi poza specyfikację klienta, czyli 6,80mm.



Rys. 6. Wykres pudełkowy dla każdego punktu wzdłuż przekroju poprzecznego wstęgi



Rys. 7. Histogram 33 pomiarów wzdłuż przekroju poprzecznego wstęgi

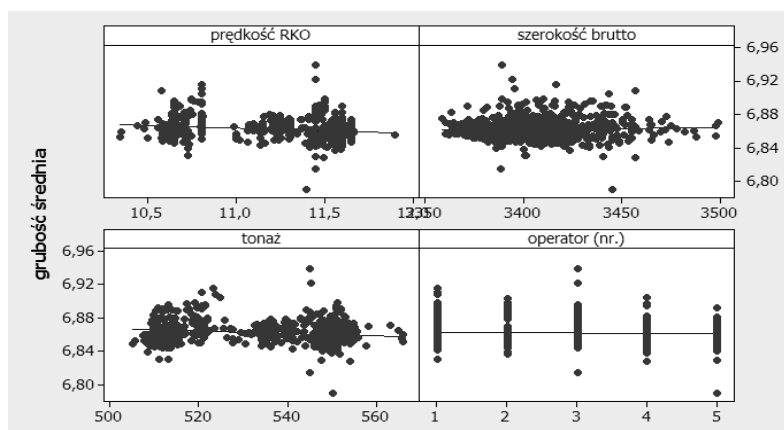
Określając korelacje pomiędzy wyjściem procesu Y – średnią grubością tafli oraz zmiennymi x procesu (Rys. 8) stwierdzono:

- Lekką korelację ujemną pomiędzy prędkością linii, a grubością średnią szkła. Im większa prędkość linii tym mniejsza grubość szkła.
- Lekką korelację ujemną pomiędzy tonażem dziennym a grubością szkła. Im większy tonaż tym mniejsza grubość szkła.
- Brak korelacji pomiędzy szerokością wstęgi a grubością szkła.
- Stwierdzono, że średnia grubość tafli zmienia się w zależności od operatora, który obsługuje urządzenia. Analizując profil grubości w poprzek wstęgi (33 punkty pomiarowe) dla każdego operatora wywnioskowano, że największą średnią grubość i największą zmienność osiąga operator nr 3.

Kolejnie poddano analizie moc 3 stref grzania w wannie float względem grubości średniej wstęgi szkła. Określono korelację ujemną stref grzania, to znaczy, że im większa jest moc grzania tym mniejszą grubość możemy osiągnąć. Analizie poddano również temperaturę szkła w czasie formowania wstęgi. Określono korelację ujemną pomiędzy grubością szkła, a temperaturą formowania szkła, czyli im większa temperatura tym mniejsza grubość.

Bazując na przeanalizowanych danych określono „najsilniejsze x” wpływające na wyjście procesu:

- x₂. operator sterujący urządzeniami
- x₆. elementy grzejne - grzałki
- x₁₂. stabilność temperatury pb (wlewanego szkła)
- x₁₄. stabilność tonażu dziennego
- x₁₅. prędkość odprężarki
- x₁₆. parametry urządzeń formujących szkło.



Rys. 8. Diagramy korelacji zmiennych X względem wyjścia procesu Y

5.4. Wdrożenie usprawnień

Zdecydowano się na stopniowe wdrażanie usprawnień, aby określić, które usprawnienie przyniosło skutek. Wiele zmian w tym samym czasie mogłoby zachwiać stabilnością procesu oraz uniemożliwić określenie prawdziwej przyczyny problemu. Zdecydowano się przeprowadzić trzy czynności usprawniające:

- Przeszkolenie wszystkich operatorów z utrzymywania stabilności grubości szkła, ustawiania odpowiednich parametrów urządzeń, oraz ustalania górnych i dolnych limitów tolerancji.
- Optymalizacja mocy dla grzałek w wannie float – stała moc na każdej grzałce w strefie.
- Ustalenie temperatury formowania szkła na 1119°C jako tą o najlepszym wpływie na grubość szkła.

5.5. Kontrola

Etap kontroli polega na stałym mierzeniu grubości szkła - Y procesu. Stałym określaniu wadliwości procesu w stosunku do celu, jaki został założony. Kolejne wdrażanie działań pokazuje, że największą poprawę uzyskano po wdrożeniu działania nr 1 – przeszkoleniu operatorów. Działanie nr 2 – optymalizacja mocy grzałek, pomogło w uzyskaniu większej stabilności procesu, natomiast działanie nr 3 – ustalenie temperatury formowania szkła na 1119°C, nie przyczyniło się do poprawy, a nawet zwiększyło średnią grubość.

6. Wnioski i podsumowanie

Do rozwiązania problemu minimalizacji grubości produkowanych tafli szklanych, tak aby grubość była jak najbliższa dolnej granicy specyfikacji klienta (która wynosi $\pm 0,2\text{mm}$) zastosowano model DMAIC. Pięciofazowy cykl doskonalenia jest normą w systemie Six Sigma. Rezultatem zastosowania modelu DMAIC jest zwiększenie wydajności procesu z $95,99\% = 40100$ DPMO do $99,56\%$, czyli proces wykazuje 4350 wad na milion możliwości ich wypełnienia.

Stosowanie systemu Six Sigma może przynieść wiele korzyści dla firmy. Nowy system zarządzania nie dostarcza tylko odpowiednich narzędzi statystycznych do kontroli procesu i wdrażania usprawnień, ale również zmienia sposób zarządzania firmą, gdzie zrozumienie wymagań klienta staje się kluczowym elementem funkcjonowania przedsiębiorstwa. Podsumowując, najważniejsze korzyści wynikające ze stosowania systemu Six Sigma to:

- eliminacja defektów i kosztów złej jakości poprzez ciągły monitoring i wprowadzenie usprawnień do procesu i produktu;
- eliminacja kosztów procesu poprzez skrócenie czasu trwania procesu i eliminowanie czynności nie wnoszących wartości dodanej dla klienta;
- zwiększenie satysfakcji i lojalności klienta poprzez ciągłe wsłuchiwanie się w „głos klienta” (ang.: Voice of Customer), przekładanie tego na cechy „krytyczne dla jakości” (ang.: Critical to Quality) oraz użycie ich do poprawy procesów;
- zwiększenie zaangażowania załogi poprzez aktywizację pracowników do identyfikacji możliwości poprawy w procesach i projektowym podejściu do firmy;
- Zmiana kultury i sposobu działania całej firmy poprzez ciągły monitoring, usprawnienie i zarządzanie zmianami poprzez projekt.

Literatura

1. Magnusson Kjell.: Six Sigma - a Quantum Improvement in Operating Performance, ABB BATPT, 1996.
2. Materiały szkoleniowe Koncernu GE,.
3. Materiały szkoleniowe firmy DNV – Six Sigma Solutions, 2007.
4. Nowa Six Sigma Matt Barney, Tom McCarty Warszawa, 2005.
5. Peter S.: The Six Sigma Way: How GE, Motorola, and Other Top Companies are Honing Their Performance, Pande, USA, 2008.
6. Six Sigma Black Belt Handbook, Tom McCarty, USA, 2004.

Dr inż. Iwona WOSIK

Instytut Automatyzacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów
Wytwarzania
Politechnika Śląska
44-100 Gliwice, ul. Konarskiego 18A,
tel.: (032) 237 24 60
e-mail: iwona.wosik@polsl.pl

Mgr inż. Marcin ZDONEK

e-mail: marcin.zdonek@gmail.com