

**Magdalena Herter, Tomasz Lesiów**

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu  
e-mail: tomasz.lesiow@ue.wroc.pl

---

## **REDUKCJA ODPADU WYNIKAJĄCEGO Z BŁĘDÓW WIZUALNYCH Z WYKORZYSTANIEM METODY DMAIC**

---

### **REDUCTION OF THE WASTE RESULTING FROM VISUAL ERRORS USING THE DMAIC METHOD**

---

DOI: 10.15611/nit.2015.4.01

JEL Classification: Q19

**Streszczenie:** Celem pracy było określenie skuteczności wykorzystania metody DMAIC do redukcji odpadu wynikającego z błędów wizualnych podczas produkcji filtrów do wody w przedsiębiorstwie X. W pracy użyto metody *case study* oraz wykorzystano metody jakościowe do pomiaru i analizy danych. Zaprezentowano i przedyskutowano wyniki projektu przeprowadzonego przy wykorzystaniu narzędzi DMAIC (*Define* – definiuj, *Measure* – mierz, *Analyse* – analizuj, *Improve* – ulepszaj, *Control* – nadzoruj). Zastosowanie tej metody skutkowało usystematyzowaniem działań przeprowadzanych podczas projektu, zidentyfikowaniem czynników powodujących defekty wizualne filtrów, określeniem najważniejszych przyczyn występowania odpadów, poprawą procesu produkcji i kontroli, zwiększeniem świadomości kadry pracowniczej i dostosowaniem procesu produkcji, tak aby finalny produkt w jak największym stopniu spełniał oczekiwania konsumenta.

**Słowa kluczowe:** Six Sigma, DMAIC, jakość, redukcja odpadu, usprawnianie procesu.

**Summary:** The aim of the study was to determine the effectiveness of using DMAIC method to reduce the waste arising from visual errors during the production of water filters in company X. The case study method and qualitative methods were used to measure and analyse the data. The results of the project were presented and discussed with the use of DMAIC tools (*Define*, *Measure*, *Analyse*, *Improve*, *Control*). An application of this method resulted in the systematization of activities carried out during the project, identification of the factors causing visual defects of filters, determining the most important causes of the occurrence of waste, improvement of production process and control, increasing awareness of personnel and adapting the production process so the final product meets the expectations of the consumer as much as possible.

**Keywords:** Six Sigma, DMAIC, quality, waste reduction, process improvements.

*The bitterness of poor quality remains long after  
the sweetness of low price is forgotten*

Benjamin Franklin

## 1. Wstęp

Jakość produktów jest czynnikiem determinującym zadowolenie klientów, których wymagania ciągle rosną. W związku z rozwojem cywilizacyjnym istnieje coraz większe zapotrzebowanie na produkty niezawodne, spełniające oczekiwania najbardziej wymagających klientów. Aby móc zaspokajać ich potrzeby, przedsiębiorstwa stosują liczne techniki ciągłego doskonalenia, dzięki którym możliwe jest zapobieganie ich powstawaniu, rozwiązanie pojawiających się problemów oraz wdrażanie pro jakościowej postawy pracowników organizacji [Wiśniewska, Malinowska 2011].

*Six Sigma* jest metodą, dzięki której w ciągu lat wiele firm osiągnęło znaczną redukcję kosztów wytwarzania oraz poprawę jakości produktów, koncentrując się na wydajności procesu. Jest to działanie, które umożliwia jak najlepsze rozpoznanie potrzeb klientów oraz wyjście naprzeciw ich oczekiwaniom. *Six Sigma* skupia się na zmniejszeniu zróżnicowania i poprawie procesu przez rozwiązywanie problemów za pomocą narzędzi statystycznych [Karaszewski 2002; Hamrol, Mantura 2011]. Jednak stosowane narzędzia są tylko częścią metodologii *Six Sigma*, która wiąże się ze zmianą kultury organizacji w taki sposób, aby zwiększyć zadowolenie klientów, a co za tym idzie – także konkurencyjność i zyskowność. Aby osiągnąć sukces, niezbędne są trzy elementy: strategiczny, taktyczny i kulturowy. Ostatni z nich jest najczęściej pomijany, jednak to właśnie on decyduje o szybkości doskonalenia. Dzięki zaangażowaniu pracowników wszystkich szczebli we wdrażanie kultury *Six Sigma* możliwe jest dostrzeżenie zagrożeń i szans stojących przed organizacją, co pozwala na dostosowywanie istniejących w niej procesów do wymagań rynku. Aby ta ideologia przetrwała w przedsiębiorstwie, należy wyznaczyć dalekosiężne plany i przełożyć je na krótkoterminowe działania, a także poświęcić wiele czasu na kreowanie akceptacji dla tej inicjatywy.

*Six Sigma* jest metodologią, która na stałe zagościła w większości przedsiębiorstw jako najbardziej skuteczne narzędzie doskonalenia procesów. Powstała w Motoroli w latach osiemdziesiątych XX wieku, a następnie została spopularyzowana przez Allied Signal i General Electric (GE) i od tamtych czasów wielokrotnie udowodniła swoją wartość jako metoda pozwalająca zwiększyć wydajność i zyskowność. Narodziny metodologii *Six Sigma* wiążą się z odkryciem związku między wysoką jakością a niskimi kosztami produkcji. W 1979 roku naczelny dyrektor Motoroli powiedział: „Droży państwo, wstydzmy się! W naszej firmie jakość po prostu leży!”. Było to przełomowe oświadczenie, które zapoczątkowało lawinę zmian. Zdano sobie sprawę z tego, że firma, która dostarcza produkty najwyższej jakości, może również ponosić najniższe koszty ich wytworzenia. W owych czasach Motorola na utrzymanie

odpowiedniego poziomu jakości przeznaczała 5-10% rocznego dochodu, co dawało sumę 800-900 milionów dolarów, które mogły zostać zaoszczędzone przy produkcji lepszych jakościowo produktów. W tym samym czasie, kiedy zarząd Motoroli myślał o ograniczeniu ponoszonych niepotrzebnie strat, Bill Smith, inżynier Motorola Communications, próbował wykazać zależność między liczbą napraw produktu w trakcie produkcji a czasem jego bezusterkowego działania. Wyniki przeprowadzonych przez niego badań wykazały, że jeżeli w trakcie procesu produkcyjnego choć jedna wada zostanie wykryta i naprawiona, to istnieje duże prawdopodobieństwo, że produkt ma też inne wady, które klient odkryje po nabyciu produktu. Badania Smitha doprowadziły Motorolę do wniosku, że nie należy tylko wykrywać i eliminować błędów, które dostrzegamy podczas procesu produkcyjnego, ale także przewidywać obszary potencjalnych zagrożeń, mogące się ujawnić w trakcie ciągłego użytkowania produktu. W ten sposób w Motoroli rozpoczął się pościg za ciągłym doskonaleniem jakości, minimalizacją kosztów i skróceniem cyklu produkcyjnego przez skupienie się na wszystkich fazach cyklu życia produktu [Harry, Schroeder 2001].

Dlaczego firmy decydują się na wdrażanie *Six Sigma*? Pierwszą nasuwającą się odpowiedzią jest oczywiście zwiększenie zadowolenia klienta do najwyższego możliwego poziomu, powinien on bowiem być niezadowolony jedynie 3 razy na milion możliwości, co wynika z rozkładu normalnego. Taki poziom jest obecnie nieosiągalny dla większości organizacji. Jednak poza zadowoleniem klienta nadrzędnym zadaniem organizacji jest ciągle podnoszenie poziomu rentowności. Każdy projekt prowadzony zgodnie z metodologią *Six Sigma* niesie ze sobą zysk dla przedsiębiorstwa oraz polepszenie jakości, a co za tym idzie – wzrost satysfakcji klientów [Grudowski, Leseure 2013].

W metodyce *Six Sigma* dążenie do osiągnięcia jak najwyższego poziomu jakości odbywa się na podstawie modeli ciągłego doskonalenia. Do modeli tych można zaliczyć:

1. DFSS – projektowanie dla *Six Sigma* (*Design for Six Sigma*).
2. DMADV – D (*Define* – definiuj), M (*Measure* – mierz), A (*Analyze* – analizuj), D (*Design* – projektuj), V (*Verify* – sprawdzaj).
3. DMEDI – D (*Define* – definiuj), M (*Measure* – mierz), E (*Explore* – zbadaj), D (*Develop* – projektuj), I (*Implement* – wdrażaj).
4. DMAIC – D (*Define* – definiuj), M (*Measure* – mierz), A (*Analyze* – analizuj), I (*Improve* – ulepszaj), C (*Control* – nadzoruj) [Harry, Schroeder 2001].

Trzy pierwsze modele służą do projektowania nowych produktów lub procesów. Zadaniem *Design for Six Sigma* jest umożliwienie przedsiębiorstwu projektowania nowych procesów, w trakcie których są wytwarzane wyroby spełniające oczekiwania klienta. Produkty te mają być jednocześnie wytwarzane na poziomie jakości zbliżającym się do standardu sześciu sigm. DMAIC natomiast jest standardową metodą doskonalenia procesu przez poszukiwanie w kolejnych etapach źródeł problemu i ich eliminowanie [Harry, Schroeder 2001].

Wprowadzenie każdej z metod zarządzania składa się z kilku faz. Niezależnie od tego, który z modeli przedsiębiorstwo zaimplementuje u siebie, pierwszym etapem jest wykreowanie i wdrożenie w firmie kultury *Six Sigma*. Proces ten składa się z pięciu etapów [Pande, Newman, Cavanagh 2003]:

1. Identyfikacji procesów rdzeniowych oraz kluczowych klientów (identyfikacja najważniejszych czynników determinujących prawidłowe działanie przedsiębiorstw oraz ich oddziaływanie z klientami zewnętrznymi).

2. Zdefiniowania potrzeb klientów (należy wprowadzić lub usprawnić strategię i systemy służące do zbierania informacji od klientów w taki sposób, aby możliwe było przewidywanie ich satysfakcji z oferowanego produktu lub usługi).

3. Pomiaru wyników działalności (etap ten wiąże się z oceną postępu przedsiębiorstwa w zakresie zdobywania wiedzy na temat potrzeb klientów. Badane są również informacje dotyczące wydajności procesów, zużycia materiałów itp., jednak najważniejszym elementem jest ocena stopnia satysfakcji klienta).

4. Wyznaczenia priorytetów, analizy i wprowadzania usprawnień (polega na identyfikacji możliwości obszarów o dużym potencjale rozwoju, a następnie dokonaniu usprawnień za pomocą dostępnych technik likwidacji defektów. Metody te można wykorzystać do rozwiązania zarówno prostych, jak i bardzo skomplikowanych problemów związanych z funkcjonowaniem przedsiębiorstwa).

5. Rozszerzania i integracji systemu *Six Sigma* (ważne jest takie zarządzanie systemami, aby osiągnąć doskonałość na poziomie *Six Sigma*. Należy zainicjować działania biznesowe w taki sposób, aby za pomocą ciągłego monitorowania uzyskiwanych wyników, analizowania ich i poprawy dążyć do stałego wzrostu jakości).

Cykl DMAIC jest punktem wyjścia do ciągłego usprawniania procesów aż do osiągnięcia poziomu 6 sigm. Doskonalenie poszczególnych procesów pozwala na osiągnięcie długoterminowych celów biznesowych organizacji. Jest to zestaw narzędzi stosowanych w celu zapewnienia ram zarządzania projektami i rozwiązywania problemów. Każda z faz opiera się na wynikach poprzedniej w celu osiągnięcia trwałych rozwiązań dla trudnych problemów. Faza *Define* mówi zespołowi, co powinno być mierzone. Faza *Measure* określa, jakie dane analizować. Faza *Analyze* wskazuje elementy wymagające poprawy. W fazie *Improve* podejmowane są działania usprawniające oraz definiowane są zmienne, które należy kontrolować. Faza *Control* pozwala na utrzymanie osiągniętych efektów oraz wskazanie kierunku zmian w celu dalszego doskonalenia procesu. Odpowiednie przejście przez wszystkie fazy cyklu pozwala znaleźć przyczyny źródłowe występujących problemów, rozwiązać je oraz wypracować najlepsze praktyki [Pande, Newman, Cavanagh 2003].

Celem pracy było określenie skuteczności wykorzystania metody DMAIC do redukcji odpadu wynikającego z błędów wizualnych podczas produkcji filtrów do wody w przedsiębiorstwie X.

## 2. Materiały i metody

Zakres pracy zrealizowany w przedsiębiorstwie X obejmował:

- analizę przyczyn występowania odpadu od listopada 2013 roku do czerwca 2014 roku,
- zbadanie metod pomiarowych,
- zbadanie poprawności ocen produktów przez operatorów oraz
- analizę parametrów procesowych.

Projekt redukcji odpadu na linii produkcji filtrów polipropylenowych do filtracji mechanicznej wody został przeprowadzony zgodnie z metodologią *Six Sigma* przy wykorzystaniu modelu DMAIC. Kolejne fazy następowały zgodnie z ogólnie przyjętą chronologią. W fazach cyklu DMAIC wykorzystano: kartę projektu, mapę strumienia wartości, diagram Ishikawy, dom jakości (QFD), wykres Pareto, analizę systemu pomiarowego (Measurement System Analysis, MSA) oraz analizę atrybutu umowy (Attribute Agreement Analysis, AAA) [Bartusik 2014; Blikle 2014; [http://www.microsofttranslator.com/bv.aspx?ref=SERP&br=ro&mkt=pl-PL&dl=pl&lp=EN\\_PL&a=http%3a%2f%2fwww.six-sigma-material.com%2fMSA.html](http://www.microsofttranslator.com/bv.aspx?ref=SERP&br=ro&mkt=pl-PL&dl=pl&lp=EN_PL&a=http%3a%2f%2fwww.six-sigma-material.com%2fMSA.html); [http://www.microsofttranslator.com/bv.aspx?ref=SERP&br=ro&mkt=pl-PL&dl=pl&lp=EN\\_PL&a=http%3a%2f%2fwww.businessdictionary.com%2fdefinition%2fattribute-agreement-analysis.html](http://www.microsofttranslator.com/bv.aspx?ref=SERP&br=ro&mkt=pl-PL&dl=pl&lp=EN_PL&a=http%3a%2f%2fwww.businessdictionary.com%2fdefinition%2fattribute-agreement-analysis.html)].

## 3. Wyniki i dyskusja

### 3.1. Proces produkcji filtru polipropylenowego

Proces produkcji filtru polipropylenowego składa się z 3 etapów:

1. Nawijanie tulei 60-calowej. Granulat tworzywa sztucznego jest upłynniany oraz nawijany na mandrełę przy zadanym ciśnieniu i temperaturze, które determinują gramaturę półproduktu. Po tym procesie otrzymywana jest tuleja pusta w środku, poddawana procesom dalszej obróbki.

2. Kondycjonowanie. W procesie tym tuleje są przetrzymywane przez odpowiedni czas w warunkach podwyższonej wilgotności i obniżonej temperatury, wskutek czego następuje skurcz materiału – tworzywa sztucznego. Staje się ono twardsze, a włókna skleja się ze sobą. Podczas procesu kondycjonowania następuje także obniżenie potencjału statycznego poszczególnych tulei, dzięki czemu mogą być bezpiecznie przerabiane bez obawy przed przeskokiem ładunku, który może być niebezpieczny dla pracowników oraz urządzeń.

3. Szlifowanie. Jest to proces składający się z 4 czynności: szlifowania powierzchni zewnętrznej, wycinania rowków, nadawania pieczętki, cięcia pod konkretny wymiar.

Filtry poddawane są stuprocentowej kontroli wizualnej po ostatnim etapie produkcji. Operator odrzuca filtry niespełniające wymagań jakościowych, a filtry dobre

przekazuje do pakowania. Parametry, które sprawdza operator, zawarte są w specyfikacji wyrobu oraz w standardzie w formie tabelarycznej, z podziałem na poszczególne grupy występujących błędów wizualnych. Każda wyrzucana sztuka jest przypisywana do odpowiedniej grupy defektów. Na etapie projektowania procesu zidentyfikowane zostały następujące kategorie: błąd cięcia, delaminacja (rozwarstwienie laminatu), poszarpana struktura, pieczętka, wystające włókna. Aby ułatwić zliczanie sztuk niezgodnych przyporządkowanych do poszczególnych wad, przy urządzeniu szlifującym znajdują się klikacze, z których korzystają operatorzy w momencie zauważenia defektu. Oprócz prowadzenia kontroli wizualnej operatorzy mierzą także wymiary filtrów i sprawdzają ich zgodność ze specyfikacją. Mierzonymi parametrami są: długość, średnica zewnętrzna oraz średnica rowkowania.

### 3.2. Redukcja poziomu odpadu na linii produkcji filtrów do wody przeprowadzona metodą DMAIC

#### Fazy cyklu DMAIC

DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) jest akronimem wskazującym wytyczne metody *Six Sigma* używane do definiowania, pomiaru, analizy, poprawy oraz kontroli wyników biznesowych.

Do podstawowych narzędzi fazy *Define* zalicza się głos klienta (*Voice of Customer; VoC*), czyli zbiór informacji, opinii, oczekiwań, preferencji, ale również antypatii odnoszących się do produktu lub usługi. Do źródeł pozyskiwania danych zaliczamy m.in.: ankiety, sondaże i badania rynku. Na podstawie analizy wyników z takich źródeł przedsiębiorstwo jest w stanie wskazać obszary do poprawy oraz ma dodatkową możliwość, aby uzupełnić portfolio produktów i usług. Zebrany głos klienta jest podstawą do aktualizacji priorytetów biznesowych firm, kierunków rozwoju, jak również wyłonienia najbardziej kluczowych projektów *Six Sigma*.

Każde przedsiębiorstwo może wyróżnić dwie grupy klientów:

- zewnętrznych – osoby spoza organizacji posiadające jej produkt lub przyjmujące usługę oraz
- wewnętrznych – osoby, które są pracownikami przedsiębiorstwa i odbiorcami produktu lub usługi (np. w wyniku przepływu materiałów między działami, realizacją projektów ergonomicznych).

Istotą fazy *Define* jest precyzyjne opisanie projektu bezpośrednio powiązane go z priorytetami biznesowymi przedsiębiorstwa. Wynikiem końcowym jest swego rodzaju umowa, karta projektu, pomiędzy championem a liderem projektu [Eckes 2011]. Karta projektu powinna zawierać jego opis, powiązanie z celami biznesowymi, cel, zakres, estymowane korzyści finansowe, skład grupy roboczej oraz szkic grafiki działań. Po stworzeniu karty projektu przeprowadza się spotkanie inauguracyjne projekt (*kick-off meeting*). Podczas spotkania dochodzi do zapoznania wszystkich członków zespołu projektowego powołanego do jego realizacji. Funkcję moderatora pełni lider projektu, który przekazuje informacje zawarte w karcie projektu, tj.: cel

i zakres projektu, powiązanie z celami biznesowymi, estymowane korzyści finansowe, szkic grafiku działań. Ponadto ustalane są role i odpowiedzialność członków zespołu oraz precyzuje się grafik działań i spotkań.

Rolą fazy *Measure* jest dokładne poznanie, opisanie, zmierzenie procesu. Zebrane i opracowane na tym etapie dane posłużą do wypracowania rozwiązań w fazie *Analyze*. Krytyczny wpływ na powodzenie projektu ma zdefiniowanie czynników wpływających na jego cele. Istotną rolę w procesie ich wyszczególnienia mogą odegrać pracownicy z największym doświadczeniem, jednak niezaangażowani w realizację projektu, tj. operatorzy produkcji. Dodatkowo praktyczne jest bazowanie na liczbowych danych ciągłych, co ułatwia wyciąganie wniosków i określanie wpływu zmiennych na wynik. Do stosowanych w tej fazie narzędzi zalicza się następujące:

MSA (*Measurement System Analysis*) – służy do oceny system pomiarowego. Pozwala ocenić, czy zbierane i wykorzystywane przez przedsiębiorstwo dane są wiarygodne oraz czy ich wynik pokrywa się z odczuciem klienta co do jakości mierzonego produktu. Dzięki przeprowadzeniu rzetelnej analizy MSA można dowiedzieć się, czy wykorzystywany system pomiarowy jest stabilny w czasie oraz czy na otrzymanywane wyniki wpływ ma czynnik procesowy czy ludzki. Aby móc wykonać analizę systemu, należy zebrać wiarygodne dane, czyli takie, które są integralne i rzetelne. Oceny rzetelności można dokonać na 3 sposoby, a mianowicie przez:

1. *Audyt* – używany do oceny danych systemowych. Generalną zasadą audytu jest próba potwierdzenia wyników z jednego systemu poprzez porównanie z wynikami z innego, niezależnego źródła. Przed audytem należy ustalić kryteria akceptacji. Nie ma jednej zasady czy metody, musimy sami wybrać najwłaściwszą: porównanie systemu komputerowego z innym systemem, zapisami ręcznymi czy fizycznymi – obserwacja procesu, czy dane wprowadzane do systemu pokrywają się z rzeczywistością.

2. *Gage R&R* – używany do oceny fizycznych właściwości produktów mierzonych danymi ciągłymi. Jest to metoda statystyczna służąca do oceny systemu pomiarowego z danymi ciągłymi. Jej zastosowanie pozwala oszacować, za jaką część obserwowanej zmienności odpowiada system pomiarowy, a za jaką sam proces. Pozwala dowiedzieć się, czy zmienność systemu pomiarowego wynika bardziej z samego przyrządu (powtarzalność) czy zależy od operatora (odtwarzalność). Porównując zmienność systemu pomiarowego ze specyfikacją, można też ocenić zdolność do „wylapywania” produktów niezgodnych.

3. *Attribute Agreement Analysis (AAA)* – używany do oceny parametrów dyskretnych, np. czy produkt jest zgodny czy niezgodny. Metoda AAA ma na celu ocenę systemu pomiarowego dokonywanego przez człowieka;

- zdolność początkową (*initial capability*), czyli początkową wartość parametru, który ma ulec poprawie w wyniku projektu *Six Sigma*. Zdolność początkowa służy do rejestrowania postępów w projekcie przez porównywanie jej z wartością po projekcie;
- mapy procesu (*process maps*), czyli zbiór narzędzi służących do graficznego przedstawienia przebiegu procesu; matryca przyczyn i skutków (*cause & effect*

*matrix*) – służy do oszacowania siły oddziaływań i powiązań między danymi wejściowymi (*input*), wyszczególnionymi na etapie mapowania, a celami projektu;

- analizę ryzyka – metodę FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), która polega na szacowaniu ryzyka pojawienia się w wyrobie i w procesie wad, opisywaniu ich przyczyn i konsekwencji oraz proponowaniu działań korygujących i zapobiegawczych;
- zdjęcie dnia (*picture of the day*), które definiuje się jako zbędne operacje w procesie dostarczania dóbr i usług – marnotrawstwo (*muda*);
- diagram spaghetti, który jest narzędziem do graficznego przedstawienia marnotrawstwa związanego z koniecznością przemieszczania się przez pracownika w celu dostarczenia produktu lub usługi (np. poszukiwanie niezbędnych narzędzi do wykonania pracy).

Funkcją fazy *Analyze* jest analiza danych uzyskanych z fazy *Measure*, a następnie identyfikacja rozwiązań do osiągnięcia celu zgodnego z zapisami w karcie projektu. Stosuje się tu powszechnie znane narzędzia, takie jak: burze mózgów; 5 x dlaczego; diagram Pareto; diagram Ishikawy; *Quality Function Deployment*; planowanie eksperymentu (metoda eksperymentowania, która za pomocą danych pomaga wyjaśnić związki przyczynowo-skutkowe występujące w procesie) oraz matryca wyboru (jest narzędziem służącym do oceny i późniejszego wyboru najlepszego rozwiązania spośród kilku alternatywnych opcji).

W fazie *Improve* następuje wprowadzenie rozwiązań wypracowanych w fazie *Analyze*. Często etap wdrożenia rozwiązań poprzedza pilot, eksperyment, mający na celu zweryfikowanie wpływu proponowanych zmian na cel projektu. Istotną rolę w fazie *Improve* odgrywają narzędzia *lean manufacturing* („szczupła produkcja”). Oceny wpływu zmian dokonuje się na podstawie porównania końcowej zdolności procesu z wartością początkową i celami ustalonymi w karcie projektu. Zdolność końcowa służy do udowodnienia poprawy w wyniku realizacji projektu przez porównywanie jej ze zdolnością początkową.

W rezultacie fazy *Control* powinien powstać tzw. *control plan*, w którym opisane i zawarte są wszelkie metody kontroli procesu. Plan kontroli jest spisem działań mających na celu utrzymanie zdolności procesu na poziomie osiągniętym po fazie *Improve* oraz opis postępowania w przypadku jego spadku poniżej tego poziomu. Powinien on określać zadania i odpowiedzialność członków zespołu oraz zawierać grafik działań koniecznych do zrealizowania w celu utrzymania zdolności na satysfakcjonującym poziomie. Po zakończeniu wszystkich zadań wynikających z fazy *Improve* oraz po stworzeniu planu kontroli może nastąpić *sign off* projektu. Jest to forma zaakceptowania rezultatów oraz potwierdzenia satysfakcji ze zrealizowanego projektu *Six Sigma*, wyrażana przez klienta, zazwyczaj *championa* lub *process ownera*.

W tabeli 1 przedstawiono przykładowe narzędzia stosowane w każdej z faz cyklu DMAIC.



**Tabela 1.** Fazy cyklu DMAIC**Table 1.** Phases of the DMAIC cycle

Nazwa fazy <i>Phase name</i>	Określenie/ <i>Define</i>	Pomiar/ <i>Measure</i>	Analiza/ <i>Analyze</i>	Poprawa/ <i>Improve</i>	Kontrola/ <i>Control</i>
Stosowane narzędzia <i>Applied tools</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• głos klienta/ <i>voice of customer</i></li> <li>• karta projektu/ <i>project charter</i></li> <li>• spotkanie inauguracyjne projektu/ <i>project kick-off meeting</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• analiza systemu pomiarowego/ <i>measurement system analysis</i></li> <li>• zdolność początkowa/ <i>initial capability</i></li> <li>• mapy procesu <i>process maps</i></li> <li>• matryca przyczyn i skutków/ <i>cause and effect matrix</i></li> <li>• analiza ryzyka/ <i>risk analysis</i></li> <li>• zdjęcie dnia/ <i>picture of the day</i></li> <li>• diagram spaghetti <i>spaghetti diagram</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• burza mózgów/ <i>brainstorming</i></li> <li>• 5 dlaczego/ <i>5 why</i></li> <li>• diagram Pareto/ <i>Pareto diagram</i></li> <li>• diagram Ishikawy/ <i>Ishikawa diagram</i></li> <li>• dom jakości (DFD)/ <i>quality function deployment</i></li> <li>• planowanie eksperymentu/ <i>design of experiment</i></li> <li>• matryca wyboru/ <i>pugh matrix</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>total preventive maintenance</i></li> <li>• <i>kanban</i></li> <li>• <i>poka yoke</i></li> <li>• <i>just in time</i></li> <li>• <i>single minute exchange of die</i></li> <li>• <i>pilot program/ programme pilot</i></li> <li>• zdolność końcowa/ <i>final capability</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>kaizen</i></li> <li>• matryca RACI/ <i>RACI matrix</i></li> <li>• audyt/ <i>audit</i></li> <li>• statystyczna kontrola procesu/ <i>statistical process control</i></li> <li>• podpisanie projektu/ <i>project sign-off</i></li> </ul>

Źródło: opracowano na podstawie materiałów zakładu X.

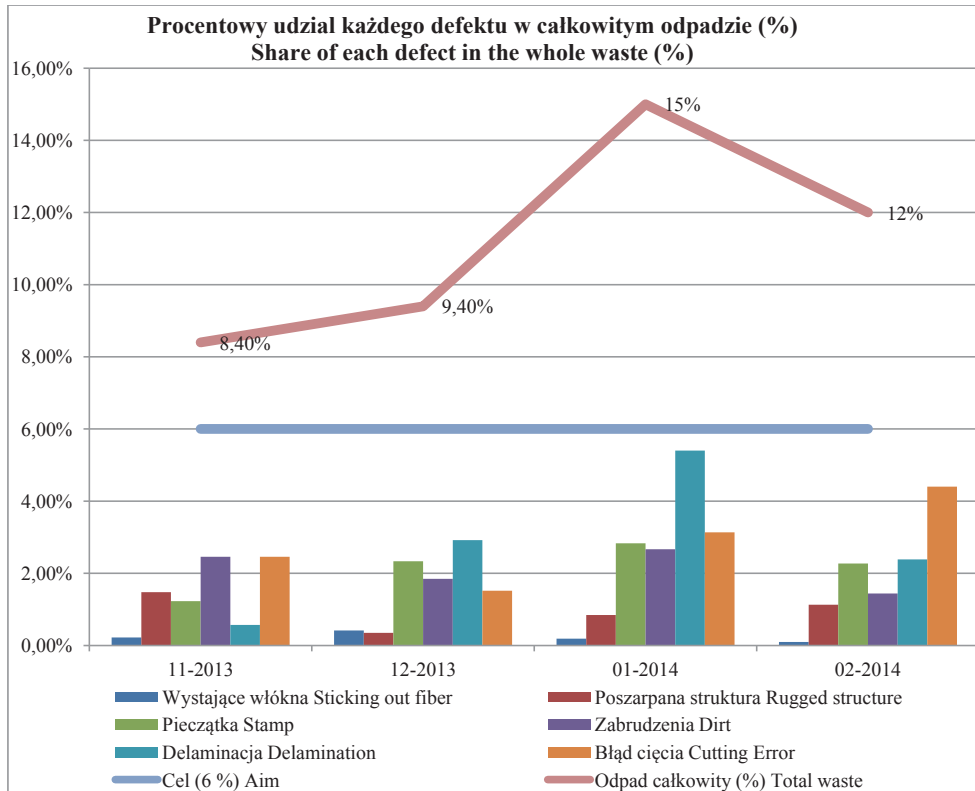
Source: own study on the basis of company X materials.

## Fazy cyklu DMAIC – studium przypadku

### Faza *Define*

Pierwszym krokiem było stworzenie karty projektu. Równoległym działaniem było określenie zdolności początkowej procesu, co pozwoliło na sformułowanie jego celu. Przy tworzeniu karty zaangażowani byli *champion* oraz *black belt*. Następnie przystąpiono do wyboru członków zespołu projektowego, któremu podczas spotkania inauguracyjnego przedstawiono zapisy z karty projektu.

Cel ilościowy projektu został określony na podstawie analizy danych historycznych. Do określenia poziomu początkowego wzięto pod uwagę 4 miesiące – od listopada 2013 do lutego 2014 roku. Na rysunku 1 przedstawiono procentowy udział odpadów w podziale na poszczególne kategorie. Górna linia przedstawia procentową sumę wszystkich kategorii błędów w odniesieniu do wyrobu zgodnego.



**Rys. 1.** Procentowy udział każdego defektu w całkowitym odpadzie  
**Fig. 1.** Share of each defect in the whole waste (%)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych zakładu X.  
Source: own study on the basis of company X data.

Z analizy danych przedstawionych na rys. 1 wynika, iż odpad całkowity w miesiącach referencyjnych znacznie przekraczał cel (6%). Procentowe udziały poszczególnych defektów wahały się z zależności od miesiąca i żaden z defektów nie osiągnął wartości zdecydowanie wyższych od pozostałych.

Na rysunku 2 przedstawiono udział wyrobów niezgodnych w całkowitej produkcji (szt.). Liczba wyprodukowanych sztuk w poszczególnych miesiącach wahała się od 5000 do 9000. Wraz ze wzrostem wolumenu nie wzrastała jednak liczba sztuk niezgodnych, więc nie były one efektem zbyt szybkiej pracy maszyny. Na podstawie analizy powyższych danych określono wartość początkową odpadu na poziomie 11,2%.

Podstawowe metryki projektu, takie jak defekty czy cele, zostały przedstawione w karcie projektu. Określono w niej także przeciwwagę, czyli parametr (czas kontroli wizualnej), którego nie chcemy popsuć, realizując projekt. Za cel korporacyjny przyjęto redukcję kosztów produkcji, a za cel projektu przyjęto redukcję odpadu







cyklu czy wydajność. W analizowanym przypadku dzięki stworzeniu mapy zauważono, że etapem, od którego zależy czas produkcji jednego filtra, jest nawijanie, jest to bowiem proces najmniej wydajny. Dodatkowo stwierdzono, że wąskim gardłem jest kondycjonowanie tulei, które trwa 12 godzin i nie przynosi wartości dodanej oraz ogranicza możliwość szybkiej reakcji na błędy wizualne zidentyfikowane przez operatorów linii szlifującej, a pochodzące z etapu nawijania.

Do analizy przyczyn wysokiego odpadu wykorzystano analizę Ishikawy. Przyczyny wysokiego odpadu podzielono na cztery kategorie ze względu na źródło występowania błędów: człowiek, maszyna, materiał, metoda (rys. 3).



Rys. 3. Diagram Ishikawy

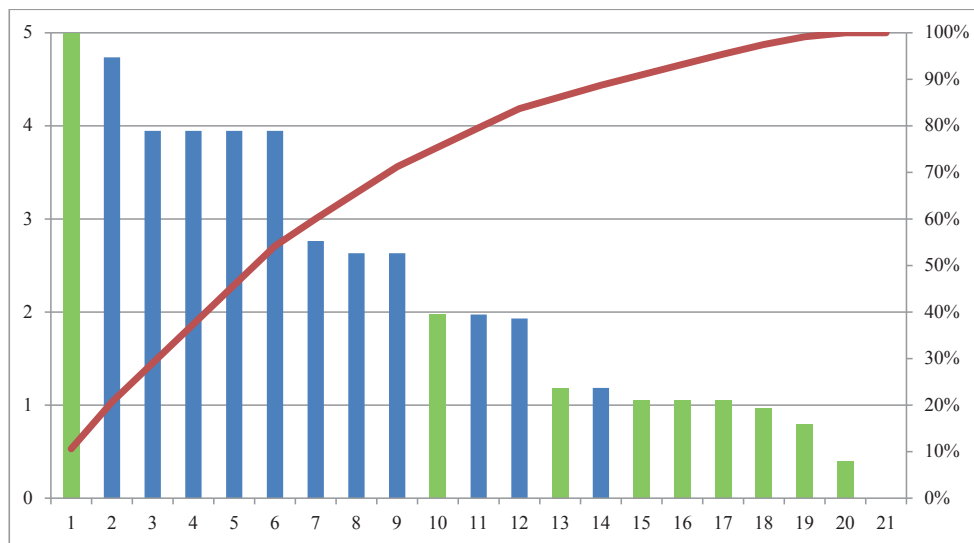
Fig. 3. Ishikawa diagram

Źródło: opracowano na podstawie materiałów zakładu X.

Source: own study on the basis of company X materials.

Aby zidentyfikować przyczyny występowania defektów, przeprowadzono szczegółową analizę QFD (danych nie zamieszczono w pracy) [Ficalora, Cohen 2009]. Na podstawie analizy QFD sporządzono wykres Pareto (rys. 4). Kolorem zielonym zostały zaznaczone parametry szlifowania, natomiast niebieskim nawijania tulei.

Analizując dane przedstawione na rys. 4, można zauważyć, że największe znaczenie w procesie ma prawidłowa receptura (kolumna 1). Jest ona ustawiana dla konkretnych produktów przez inżyniera procesowego. Operator wybiera recepturę w zależności od produkowanego wyrobu. Pozostałe pięć parametrów o najwyższych wartościach jest parametrami nawijania (kolumna 2-6). Warto podkreślić, że parametry od 1-11 łącznie mają w 80-procentowy wpływ na jakość produktu gotowego.



**Rys. 4.** Analiza Pareto dla parametrów procesowych determinujących jakość produktu gotowego  
**Fig. 4.** Pareto analysis for process parameters which determine quality of the finished product

*Legenda/Legend*

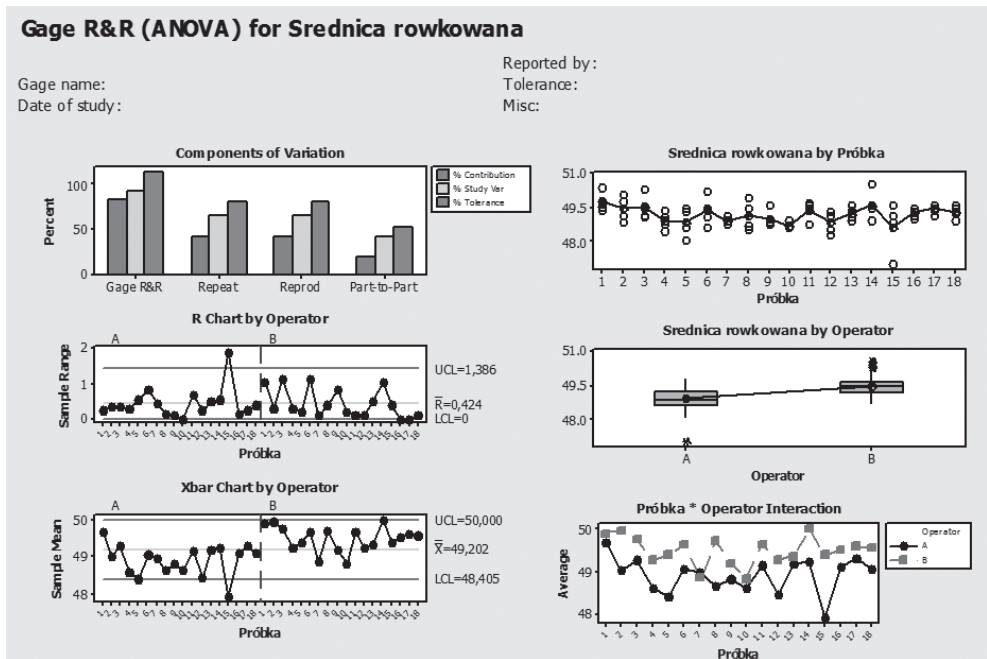
1. Prawidłowa receptura szlifowania/*The correct formula of grinding*
2. Ułożenie włókien na mandreli/*The arrangement of the fibres on mandreli*
3. Prawidłowe dozowanie surowców/*Correct dosing of raw materials*
4. Temperatura nadmuchu powietrza/*Airflow temperature*
5. Ciśnienie nadmuchu powietrza/*Airflow pressure*
6. Temperatura w strefie nawijania/*The temperature in the winding zone*
7. Centryczność tulei/*Centricity sleeve*
8. Prawidłowe działanie pompy/*Proper operation of the pump*
9. Temperatura przy głowicy/*The temperature at the coupling head*
10. Czystość piły/*Cleanliness of saw blade*
11. Średnica mandreli/*The diameter of the mandreli*
12. Czystość głowicy/*Purity of the head machine*
13. Czystość urządzenia szlifującego/*Cleanliness of machine grinding*
14. Jakość gumek rozprężających na mandreli/*Quality of rubber bands expanding on mandreli*
15. Temperatura pieczętki/*Stamps temperature*
16. Czas docisku pieczętki/*Stamps time pressure*
17. Czystość pieczętki/*Cleanliness of stamps*
18. Ostrość piły/*Saw sharpness*
19. Użycie prawidłowej piły/*Use the correct saw blade*
20. Ciśnienie pieczętki/*Stamp pressure*
21. Szybkość obrotowa manderli/*Rotational speed of manderli*

Źródło: opracowano na podstawie materiałów zakładu X.

Source: own study on the basis of company X materials.

W celu analizy systemu pomiarowego przeprowadzono analizę MSA (*Measurement System Analysis*) oraz AAA (*Attribute Agreement Analysis*). Dzięki analizie MSA można zbadać parametry mierzalne, natomiast analiza AAA została zastosowana w celu analizy zgodności oceny operatorów ze standardem (tab. 2).

Analiza MSA została wykonana dla średnicy rowkowanej. Do badań pobrano 20 próbek, które zostały zmierzone przez 2 operatorów. Każdy z nich mierzył za pomocą suwmiarki każdy filtr dwa razy w kolejności przypadkowej. Wybrane próbki odzwierciedlały całkowitą zmienność procesu. Podczas obserwacji zauważono, że każdy z operatorów ma inną technikę mierzenia filtrów, np. dokonuje pomiarów w innym miejscu oraz podaje wynik z inną dokładnością. Ma to odzwierciedlenie w wynikach analizy w programie Minitab przedstawionych na rys. 5.



Rys. 5. Wyniki analizy MSA  
Fig. 5. Results of MSA analysis

Źródło: opracowano na podstawie materiałów zakładu X.  
Source: own study on the basis of company X materials.

Znaczenie poszczególnych wykresów (rys. 5) omówiono w tab. 3.

Do analizy AAA pobrano 30 próbek wyrobu gotowego w taki sposób, aby zawierały wszystkie typy występujących defektów wizualnych. Próbki te były następnie oceniane przez eksperta oraz trzech operatorów w celu weryfikacji zgodności ocen (tab. 4). W programie Minitab zgodność pomiarów mierzona jest współczynnikiem



Kappa. Określa on, o ile stosowany system jest lepszy od przypadkowego wyboru. Jeżeli wskaźnik Kappa jest wysoki, oceny są prawidłowe, jeżeli natomiast jest niski, użyteczność ocen stosowanych w procesie jest bardzo ograniczona. Generalną zasadą jest, że jeżeli wskaźnik Kappa jest poniżej 0,7, to system pomiarowy wymaga uwagi.

**Tabela 3.** Omówienie wyników analizy MSA dla średnicy rowkowanej

**Table 3.** Overview of the results of the analysis of the MSA for grooved diameter

<p>Pierwszy wykres (Gage R&amp;R) pokazuje, jaka część zmienności systemu pomiarowego pochodzi ze sprzętu pomiarowego. Jak widać, w analizowanym przykładzie zmienność pomiarów jest wynikiem niedokładnego sprzętu pomiarowego.</p> <p>The first chart (Gage RR) shows how much of the variation of the measuring system comes from measuring equipment. As you can see in this example, the variability of the measurements is the result of inaccurate measurement equipment.</p>	<p>Wykres w prawym górnym rogu pokazuje różnicę między średnicą rowkowaną dla poszczególnych próbek.</p> <p>Graph in the upper right corner shows the difference between the grooved diameter for individual samples.</p>
<p>R-Chart odzwierciedla zmienność między pierwszym a drugim pomiarem tej samej próbki każdego z operatorów. Jak widać, pomiary wahają się średnio o 1 mm.</p> <p>R-Chart reflects the variability between the first and second measurement of the same sample of each of the operators. As you can see, the measurements vary by an average of 1 mm.</p>	<p>Na dwóch wykresach w prawym dolnym rogu analizy widać różnicę między poszczególnymi pomiarami przeprowadzanymi przez każdego z operatorów. Mimo iż może się wydawać, że wykresy się nie pokrywają, należy zauważyć, iż różnice w pomiarach są bardzo małe.</p> <p>In the two graphs in the lower right corner of the analysis one can see the difference between the measurements made by each operator. Although it may seem that the graphs do not comply, it should be noted that the differences in the measurements are very small.</p>
<p>X-Bar Chart pokazuje średnią wartość dla każdej z próbek. Można zaobserwować, iż pomimo że wybrane zostały próbki odzwierciedlające całą zmienność procesu, to zebrane wyniki są bardzo podobne. Świadczy to o braku wahań średnicy rowkowanej w trakcie trwania procesu.</p> <p>X-Bar Chart shows the average value for each of the samples. It can be observed that despite the fact that samples were selected to reflect the entire process variability, the collected results are very similar. This indicates a lack of fluctuation in grooved diameter during the process.</p>	<p>In the two graphs in the lower right corner of the analysis one can see the difference between the measurements made by each operator. Although it may seem that the graphs do not comply, it should be noted that the differences in the measurements are very small.</p>

Źródło: opracowano na podstawie materiałów zakładu X.  
Source: own study on the basis of company X materials.

**Tabela 4.** Ogólna zgodność między odpowiedziami operatorów i eksperta**Table 4.** Overall agreement between the operators' and the expert's answers

Odpowiedź/ <i>Answer</i>	Wskaźnik Kappa/ <i>Kappa indicator</i>
Błąd cięcia/ <i>Cutting error</i>	0,68
Delaminacja/ <i>Delamination</i>	0,81
Pieczątko/ <i>Seal</i>	0,33
Poszarpana struktura/ <i>Rugged structure</i>	0,70
Prawidłowy produkt/ <i>Consistent product</i>	0,74
Zabrudzenia/ <i>Smuts</i>	0,72
Razem/ <i>Together</i>	0,66

Źródło: opracowano na podstawie materiałów zakładu X.

Source: own study on the basis of company X materials.

Wyniki przeprowadzonej analizy AAA pokazały, że operatorzy w większości przypadków potrafią prawidłowo określić, czy produkt jest zgodny, a w przypadku stwierdzenia wady przyporządkować ją do odpowiedniej kategorii. Problem, który jest bardzo widoczny, dotyczy pieczętki na produkcie. Przeprowadzona analiza dowiodła, że średnio tylko w 33% przypadków operatorzy oceniają produkt w ten sam sposób co ekspert. Dogłębna analiza zgromadzonych danych wykazała, że niektóre typy defektów pieczętki są akceptowalne dla eksperta, natomiast operator uznaje te same produkty za wadliwe. Wynika to z braku jednoznacznego standardu wizualnego wyglądu pieczętki i określenia dopuszczalnych jej wad.

### Faza *Analyze*

Przeprowadzone analizy dowiodły, że:

- Metoda mierzenia średnicy rowkowanej pozwala na identyfikację wyrobów niezgodnych, ale należy ją usystematyzować, aby wynik nie zależał od sposobu dokonywania pomiarów przez operatorów.
- Największy wpływ na jakość mają parametry procesu nawijania.
- Nie są dostępne jednoznaczne standardy wizualne dla operatorów, co generuje rozbieżność ich oceny od oceny eksperta.
- Błędy wizualne wynikające z procesu nawijania są wykrywane dopiero po oszlifowaniu, czyli po około 12 godzinach ze względu na długi czas kondycjonowania.

### Faza *Improve*

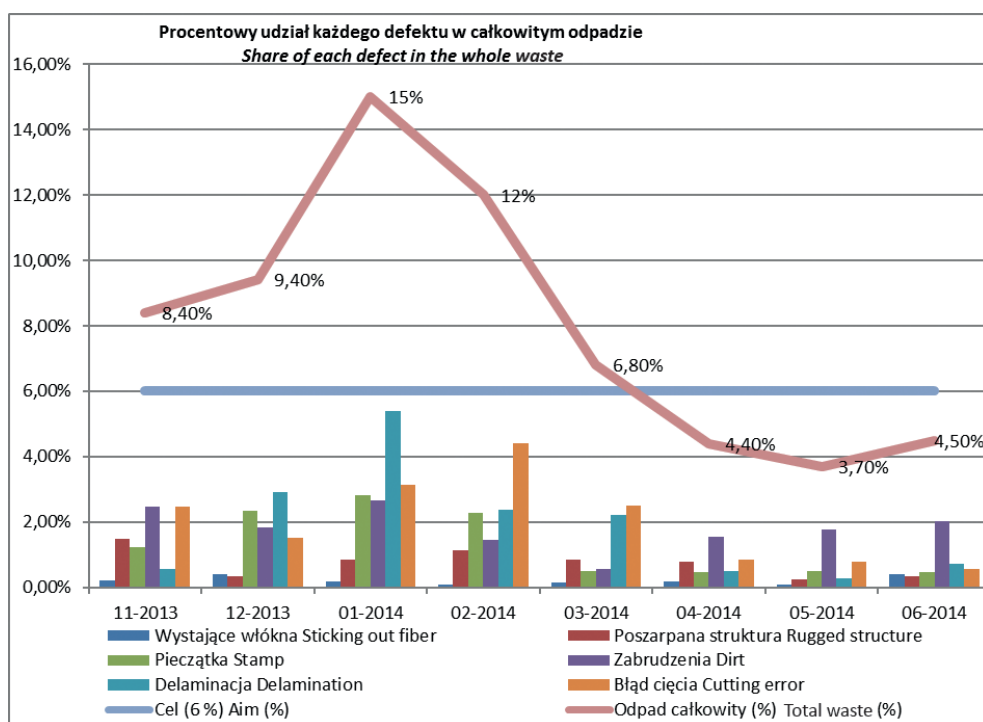
Aby zredukować odpad wynikający z błędów wizualnych:

- Sprawdzono możliwość skrócenia czasu kondycjonowania w celu wcześniejszego wykrywania błędów i zapobiegania im na etapie nawijania.
- Poddano kontroli wizyjnej tuleje podczas nawijania.

- Stworzono szczegółowe standardy wizualne dla pracowników.
- Stworzono plan działań, jakie należy podjąć po zaobserwowaniu defektu wizualnego.
- Stworzono plan eskalacji utrzymania ruchu w celu zapobiegania błędom wynikającym z pracy urządzeń.

W wyniku przeprowadzonych badań nad tulejami polipropylenowymi dowiedziono, że skurcz pierwotny i wtórny tworzywa sztucznego następują w ciągu pierwszej godziny od nawinięcia. Natomiast całkowite rozładowanie ładunków elektrostatycznych zebranych na powierzchni tulei trwa cztery godziny. W rezultacie skrócono czas kondycjonowania do czterech godzin, dzięki czemu istnieje możliwość szybkiego zareagowania na błędy niewykryte w trakcie kontroli podczas procesu nawijania.

Aby umożliwić kontrolę powierzchni wewnętrznej tulei, zdecydowano o konieczności zakupu kamery.



**Rys. 6.** Procentowy udział każdego defektu w całkowitym odpadzie

**Fig. 6.** Percentage of each defect in the whole waste

Źródło: opracowano na podstawie materiałów zakładu X.

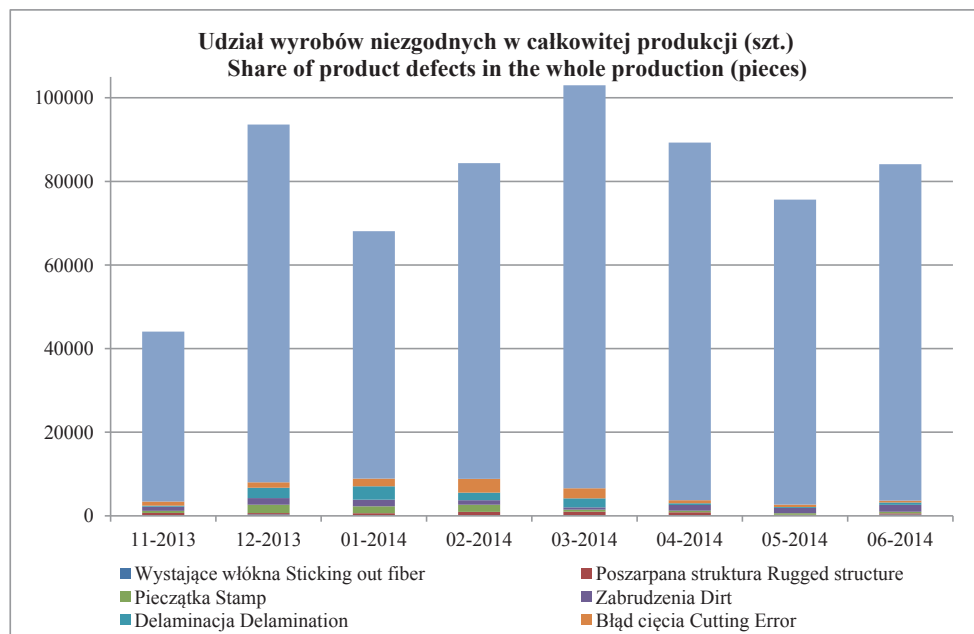
Source: own study on the basis of company X materials.

Po konsultacjach z ekspertem zostały stworzone standardy wizualne oraz schematy postępowania dla każdego rodzaju defektu. Została także zaprojektowana tablica, na

której znajdują się próbki filtrów z dokładnym opisem zaistniałej wady oraz omówieniem, czy wada jest dopuszczalna i dlaczego, dzięki czemu operatorzy w trakcie pracy mogli porównać produkt z wzorcem. Organizowane są także cykliczne spotkania w celu omawiania zaistniałych błędów wizualnych.

W celu zapobiegania wadom wyrobu gotowego wynikającym z pracy maszyny stworzono instrukcję zawierającą schematy postępowania w trakcie przeglądów oraz czyszczenia maszyn i urządzeń. Ponadto stworzono harmonogram określający częstotliwość. Czynności podzielono na trzy grupy: wykonywane przed każdym rozruchem maszyny, raz dziennie lub raz w tygodniu. Wszystkie nieprawidłowości zapisywano w postaci raportu i przekazywano inżynierom utrzymania ruchu

Na rysunku 6 przedstawiono poziom odpadu w ciągu ośmiu miesięcy (od listopada 2013 do czerwca 2014 roku). Cztery pierwsze miesiące odpowiadają okresowi przed rozpoczęciem projektu – na ich podstawie wyznaczona została zdolność początkowa na poziomie 11,2%. Kolejne miesiące przedstawiają okres trwania projektu. Wykresy pokazują, że dzięki przeprowadzonym działaniom poziom odpadu zmniejszył się do poziomu akceptowalnego. Zdolność końcową projektu obliczono na podstawie 3 ostatnich miesięcy (po rozpoczęciu działań fazy *Improve*) i wyniosła ona 4,3%.



**Rys. 7.** Udział wyrobów niezgodnych w całkowitej produkcji (szt.)

**Fig. 7.** Share of products defect in the whole production (pieces)

Źródło: opracowano na podstawie materiałów zakładu X.  
Source: own study on the basis of company X materials.

Dzięki obecności lidera projektu na obszarze produkcyjnym, pracy nad stworzeniem jednoznacznych standardów oceny wizualnej zarówno z ekspertami, jak i z operatorami nastąpiła znaczna redukcja poziomu odpadu. Efekty zaobserwowano już w pierwszym miesiącu realizacji projektu, dzięki czemu poziom odpadu uległ obniżeniu z 12 do 6,8%. Podjęcie dalszych działań usprawniających pozwoliło na osiągnięcie celu projektu.

Jak wynika z analizy danych przedstawionych na rys. 7, dzięki podjęciu działań związanych z ustabilizowaniem warunków procesu, defekty wynikające z delaminacji materiału, błędy cięcia oraz niewłaściwie odbitej pieczętki zostały prawie całkowicie wyeliminowane. Od kwietnia do czerwca najczęściej występującymi wadami były zabrudzenia materiału, które wynikają ze specyfiki produkcji oraz produkowanych wyrobów, którymi są białe filtry. Aby uniknąć powstawania tych wad, niezbędna jest współpraca wszystkich operatorów w utrzymywaniu czystości maszyn oraz informowaniu o występujących problemach. W tym celu stworzono plan eskalacji utrzymania ruchu.

### Faza *Control*

Aby kontrolować wyniki przeprowadzonego projektu, stworzona została matryca odpowiedzialności, którą przedstawiono w tab. 5. Są w niej zawarte zadania wykonywane zarówno cyklicznie, jak i jednorazowo. Do każdego działania została przyporządkowana osoba odpowiedzialna. Wskazano także osoby uczestniczące oraz informowane.

**Tabela 5.** Matryca odpowiedzialności za utrzymanie wyników przeprowadzonego projektu

**Table 5.** Matrix of responsibility for maintaining the results of the project

Funkcja/Function	Lider projektu/ Project leader	Inżynier jakości/ Quality engineer	Inżynier procesu/ Process engineer	Kierownik produkcji/ Production manager	Operatorzy/ Operators	Działanie/Action	Kiedy/When
1	C	C		I	R	Aktualizacja standardów wizualnych/ <i>Updating the visual standards</i>	Zawsze, kiedy potrzebne/ <i>Whenever needed</i>
2		R	I	A		Przegląd metryk jakościowych/ <i>A review of qualitative metrics</i>	Codziennie/ <i>Everyday</i>
3		I	R	A		Przegląd metryk procesowych/ <i>Overview of process metrics</i>	Co tydzień/ <i>Every week</i>

Tabela 5, cd.

Table 5, cont.

4	C	R		I	I	Audyt procesu i produktu/ <i>Process and product audit</i>	Co dwa miesiące/ <i>Every two months</i>
5			I	R	I	Plan eskalacji utrzymania ruchu/ <i>Maintenance escalation plan</i>	Jednorazowe wykonanie, ciągłe stosowanie/ <i>One-time performance, continuous use</i>
Objaśnienia							
R	Realizujący/ <i>Implementer</i>						
A	Zatwierdzający/ <i>Authorising</i>						
C	Kontrolujący/ <i>Controlling</i>						
I	Informowany/ <i>Informed</i>						

Źródło: opracowano na podstawie materiałów zakładu X.

Source: own study on the basis of company X materials.

#### 4. Zakończenie

Zastosowanie metody DMAIC pozwoliło na usystematyzowanie działań przeprowadzanych podczas projektu. Przechodząc przez kolejne fazy, można było zidentyfikować czynniki powodujące defekty wizualne filtrów polipropylenowych. Dzięki zastosowaniu poszczególnych narzędzi *Six Sigma* możliwe było określenie ich istotności w procesie. Pozwoliło to również na skoncentrowanie się na najważniejszych przyczynach występowania odpadu na podstawie danych, liczb i faktów.

Analiza danych uzyskanych podczas prowadzenia projektu metodą DMAIC pozwoliła na podjęcie działań mających na celu poprawę procesu produkcji i kontroli polipropylenowych filtrów do wody. Do procesu zostali zaangażowani pracownicy różnych szczebli, jak również eksperci, dzięki czemu zwiększona została świadomość na temat produkowanych wyrobów, co pozwoliło dostosować proces produkcji w taki sposób, aby wyroby w jak najwyższym stopniu spełniały oczekiwania klientów.

Dzięki przeprowadzeniu projektu mającego na celu zmniejszenie odpadu wynikającego z błędów wizualnych wdrożono długoterminowy proces usprawnień w całym obszarze produkcyjnym. Ponieważ ocena wizualna jest bardzo subiektywna, ważnym etapem projektu było zebranie rzetelnych danych zarówno o procesie, jak i o wymaganiach stawianych wyrobom w celu uniknięcia niewłaściwej ich interpretacji.

Dzięki zastosowaniu *Six Sigma* możliwe stało się dogłębne zrozumienie potrzeb klientów, które przełożone zostało na analizę statystyczną występujących w przedsiębiorstwie procesów w celu ich ciągłego doskonalenia.

## Literatura

- Bartusik K., 2014, *Przegląd metod projektowania systemów organizacyjnych – raport z badań*, [w:] *Współczesne kierunki rozwoju nauk o zarządzaniu w kontekście dokonań naukowych Profesora Adama Stabryły*, red. H. Bieniok, Wyd. Mfiles.pl, Kraków.
- Blikle A., 2014, *Doktryna jakości*. Wyd. Onepress, Warszawa.
- Eckes G., 2011, *Six Sigma jako trwałe element kultury organizacyjnej*, MT Biznes, Warszawa.
- Ficalora J.P., Cohen L., 2009, *Quality Function Deployment and Six Sigma*, A QFD Handbook. Prentice Hall.
- Grudowski P., Leseure E., 2013, *Lean Six Sigma dla małych i średnich przedsiębiorstw*, Wydawnictwo WNT, Warszawa.
- Hamrol A., Mantura W., 2011, *Zarządzanie jakością. Teoria i praktyka*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Harry M., Schroeder R., 2001, *Six Sigma. Wykorzystanie program jakości do poprawy wyników finansowych*, Oficyna Ekonomiczna, Kraków.
- [http://www.microsofttranslator.com/bv.aspx?ref=SERP&br=ro&mkt=pl-PL&dl=pl&lp=EN\\_PL&a=http%3a%2f%2fwww.six-sigma-material.com%2fMSA.html](http://www.microsofttranslator.com/bv.aspx?ref=SERP&br=ro&mkt=pl-PL&dl=pl&lp=EN_PL&a=http%3a%2f%2fwww.six-sigma-material.com%2fMSA.html) (dostęp 30.01.2016).
- [http://www.microsofttranslator.com/bv.aspx?ref=SERP&br=ro&mkt=pl-PL&dl=pl&lp=EN\\_PL&a=http%3a%2f%2fwww.businessdictionary.com%2fdefinition%2fattribute-agreement-analysis.html](http://www.microsofttranslator.com/bv.aspx?ref=SERP&br=ro&mkt=pl-PL&dl=pl&lp=EN_PL&a=http%3a%2f%2fwww.businessdictionary.com%2fdefinition%2fattribute-agreement-analysis.html) (dostęp 30.01.2016).
- Karaszewski R., 2002, *TQM. Teoria i praktyka*, Dom Organizatora, Toruń.
- Pande P.S., Newman R.P., Cavanagh R.R., 2003, *Six Sigma – sposób poprawy wyników nie tylko dla firm takich, jak GE czy Motorola*, Warszawa.
- Wiśniewska M., Malinowska E., 2011, *Zarządzanie jakością żywności. Systemy. Koncepcje. Instrumenty*, Difin SA, Warszawa.