

# The use of the FMEA method to assess the quality of dairy products

## Wykorzystanie metody FMEA do oceny jakości wyrobów mleczarskich

Katarzyna Sak<sup>1</sup>, Manuela Ingaldi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Członek Koła Naukowego „Promotor Jakości”, Wydział Zarządzania, Politechnika Częstochowska, Al. Armii Krajowej 19b, 42-200 Częstochowa, Polska, katarzynasak21@gmail.com

<sup>2</sup>Katedra Inżynierii Produkcji i Bezpieczeństwa, Politechnika Częstochowska, Al. Armii Krajowej 19b, 42-200 Częstochowa, Polska, manuela@gazeta.pl

**Abstract:** The purpose of the article is to use the FMEA method to assess the quality of a selected dairy product. The method of causes and effects of defects consists in recognizing potential defects and the reasons for their formation. The article presents not only the aims of and reasons for applying FMEA, but also stages of the analysis and its applications. Thanks to the FMEA method, we can constantly improve our product (or process) by subjecting it to subsequent analyzes and, based on the results obtained, introduce new patches and solutions striving for a perfect product.

**Streszczenie:** Celem artykułu jest wykorzystanie metody FMEA do oceny jakości wybranego wyrobu mleczarskiego. Metoda przyczyn i skutków wad polega na rozpoznawaniu potencjalnych wad i przyczyn ich powstawania. W artykule przedstawiono nie tylko cele i przyczyny stosowania FMEA, ale także etapy analizy i jej zastosowania. Dzięki zastosowaniu metody FMEA, możemy ciągle doskonalić nasz produkt (lub proces) przez poddawanie go kolejnym analizom i na podstawie uzyskanych wyników wprowadzać nowe poprawki i rozwiązania dążące do produktu doskonałego.

**Key words:** quality, dairy products, FMEA, risk

**Słowa kluczowe:** jakość, wyroby mleczarskie, FMEA, ryzyko

### 1. Wstęp

Metoda FMEA jest jedną z metod zarządzania jakością. Jest wykorzystywana w wielu polskich przedsiębiorstwach, w tym branży spożywczej. Metoda ta, dzięki analizie ryzyka wystąpienia niezgodności w wyrobie lub procesie, pomaga na ich eliminację jeszcze przed ich wystąpieniem, co pozwala ograniczyć koszty złej jakości oraz wpłynąć na zadowolenie klientów.

Metoda FMEA została opracowana w latach sześćdziesiątych XX w. w Stanach Zjednoczonych przy konstruowaniu oraz przygotowywaniu procesów wytwarzania wyrobów w astronautyce, technice jądrowej i w przemyśle lotniczym. Metoda ta z czasem zyskała uznanie w Europie znajdując zastosowanie w przemyśle elektronicznym, a głównie samochodowym. To gałęzie przemysłu szczególnie wymagające wysokiej niezawodności ze względu na bezpieczeństwo użytkowników. Jest stosowana również przez dostawców, nie tylko przez producentów wyrobów gotowych. Często prowadzenie projektów FMEA jest warunkiem uzyskania zamówienia na produkcję podzespołów lub elementów [1].

Celem artykułu jest wykorzystanie metody FMEA do oceny jakości wyrobów mleczarskich. Do analizy wykorzystano informacje na temat procesu produkcyjnego sera typu mozzarella.

### 2. Metodyka badań

Metoda przyczyn i skutków wad to metoda stosowana do rozpoznawania potencjalnych wad i przyczyn ich powstawania, które mogą najbardziej ograniczać wydajność, a także skuteczność procesów oraz narażać odbiorców usług lub użytkowników wyrobu na niebezpieczeństwo. Metoda ma bardzo wiele zastosowań. Jest skuteczna w analizie złożonych procesów i wyrobów, w produkcji zarówno jednostkowej, jak i masowej. Analizie można poddać pojedynczy komponent, podzespół, cały wyrób, fragment procesu oraz cały proces technologiczny, w fazie zarówno projektowania, jak i realizacji produkcji [2].

Celem FMEA jest:

- konsekwentne i ciągle eliminowanie wad wyrobu lub procesu produkcji poprzez identyfikację rzeczywistych przyczyn ich powstawania i stosowanie środków zapobiegawczych o udowodnionej skuteczności,
- unikanie wystąpienia rozpoznanych oraz jeszcze nieznanymi wad w następnych wyrobach i procesach, wykorzystując wiedzę i doświadczenie z wcześniej przeprowadzonych analiz.

Cele FMEA są zgodne również z zasadą ciągłego doskonalenia. Metoda FMEA poddaje wyrób lub proces kolejnym analizom, a następnie na podstawie uzyskanych wyników pozwala wprowadzać poprawki i nowe rozwiązania, skutecznie eliminując źródła wad. Przeprowadzenie analizy może również dostarczyć nowych pomysłów ulepszających właściwości wyrobu [3].

Wyróżnia się dwa rodzaje FMEA:

- **FMEA wyrobu/konstrukcji** może być przeprowadzana już podczas wstępnych prac projektowych. Celem tej metody jest zdobycie informacji o słabych punktach projektowanego wyrobu, tak aby istniała możliwość wprowadzenia zmian jeszcze przed podjęciem właściwych prac konstrukcyjnych.

Słabe punkty wyrobu lub konstrukcji mogą dotyczyć:

- funkcji, które wyrób ma spełniać,
- łatwości obsługi przez użytkownika,
- niezawodności wyrobu podczas eksploatacji,
- łatwości naprawy w przypadku uszkodzenia, technologii konstrukcji.

Przeprowadzanie FMEA wyrobu/konstrukcji jest zalecane w sytuacjach:

- wprowadzania nowego wyrobu,
- wprowadzenia nowych materiałów,
- zastosowania nowych technologii,
- pojawienia się nowych możliwości zastosowania wyrobu,
- eksploatacji wyrobu w szczególnie trudnych warunkach,
- dużego zagrożenia dla człowieka lub otoczenia w przypadku wystąpienia awarii wyrobu,
- podejmowania znacznych inwestycji [4].
- **FMEA procesu** dotyczy szeroko rozumianych procesów wytwarzania wyrobów i ich części lub zespołów, dotyczy również procesów użytkowania lub serwisowania, w tym procesów świadczenia usług. Celem tej metody jest wskazanie czynników, które mogą utrudniać przebieg procesu i spełnianie wymagań zawartych w specyfikacji wyrobu lub usługi. Czynniki te mogą być związane z:
  - metodami i parametrami procesów,
  - środkami pomiarowo – kontrolnymi,
  - maszynami i urządzeniami,
  - warunkami użytkowania,
  - wpływami otoczenia.

FMEA procesu ma zastosowanie w procesach trudnych do opanowania, w fazie planowania procesów technologicznych oraz procesów serwisowania, zarówno przed uruchomieniem produkcji seryjnej, jak i w trakcie produkcji seryjnej w celu doskonalenia procesów, które nie zapewniają uzyskania wymaganej wydajności [5].

Przebieg działań związanych z przeprowadzeniem projektu FMEA realizowany jest w trzech zasadniczych etapach: przygotowania, przeprowadzenia właściwej analizy oraz wprowadzenia i nadzorowania działań zapobiegawczych.

#### Etap 1. Przygotowanie

W fazie przygotowania tworzony jest zespół składający się z przedstawicieli różnych działów organizacji oraz czasami jak jest taka potrzeba z użytkowników wyrobu/usługobiorców. Pracownicy składający się na zespół powinni posiadać duże doświadczenie. Zespołem kieruje lider, który ma za zadanie organizować oraz kierować pracą grupy FMEA. W pracach powinny być stosowane metody pracy zespołowej oraz narzędzia z grupy organizatorskich i elementarnych. Zadaniem zespołu jest identyfikacja problemów, które powinny być rozwiązane oraz przygotowanie potrzebnych założeń do przeprowadzenia poprawnej analizy FMEA [6].

#### Etap 2 Właściwa analiza

Drugi etap polega na przeprowadzeniu właściwej analizy. Wyróżnić można FMEA produktu, nazywane pFMEA, i procesu, zwane pFMEA.

Pierwsze zadanie do wykonania w tej fazie to określenie potencjalnych wad, których wystąpienie w wyrobie jest prawdopodobne. Należy wziąć pod uwagę również wady, które mogą wystąpić w sytuacjach mało prawdopodobnych. Przyczyn wad można szukać zarówno w konstrukcji wyrobu, jak i w procesie technologicznym. Na tym etapie istotne jest określenie związków przyczynowo-skutkowych, w których wada jest elementem. Natomiast przy FMEA procesu należy określić, w jaki sposób dana operacja może nie spełniać stawianych jej wymagań. W dalszej kolejności trzeba określić potencjalne przyczyny wad. Dla każdej wady należy wymienić możliwe wszystkie przyczyny i mechanizmy jej powstawania. Następnie trzeba ocenić zdefiniowane wcześniej relacje: przyczyna - wada - skutek. Ocena dokonywana jest w skali 10 punktowej. Pod uwagę są brane trzy kryteria:

- prawdopodobieństwo (częstość) wystąpienia wady - liczba LPW,
- możliwości wykrycia przyczyny, zanim spowoduje wystąpienie wady – LPO,
- znaczenie wady – liczba LPZ.

Określając liczbę LPW, cyfra 1 oznacza nieprawdopodobne wystąpienie wady. Natomiast liczba 9-10 oznacza błąd prawie nie do uniknięcia, prawdopodobieństwo bardzo wysokie. Liczbę LPO szacuje się przyjmując kryterium, w którym cyfra 1-2 sugeruje bardzo wysoką wykrywalność wady, a liczba 10 oznacza niemożliwą wykrywalność wady. Ostatnią liczbę czyli LPZ określa się cyfrą 1 w przypadku bardzo małego znaczenia wady, zatem liczbą 9-10, gdy znaczenie wady jest bardzo duże.

Na podstawie wskazanych liczb oblicza się tzw. liczbę priorytetową ryzyka LPR. W tym celu stosuje się wzór:

$$LPR = LPW \times LPO \times LPZ \quad (1)$$

gdzie: LPW – prawdopodobieństwo wystąpienia błędu; LPZ – znaczenie dla klienta; LPO – wykrywalność wady/błędu; LPR – liczba priorytetowa ryzyka.

LPR może przybierać wartości od 1 do 1000. Wraz ze wzrostem liczby LPR zwiększa się ryzyko wystąpienia wady [7].

#### Etap 3. Wdrożenie i nadzorowanie działań prewencyjnych

Otrzymane wyniki z przeprowadzonych analiz służą jako fundament do wprowadzenia zmian mających na celu zmniejszenie ryzyka wystąpienia wad, określonych jako krytyczne. Wartość liczby LPR powyżej 150 oznacza wartość krytyczną, w przypadku przemysłu precyzyjnego czy spożywczego wartość ta może być dużo niższa.. Po ustaleniu poziomu krytycznego należy wprowadzić działania korygujące. Jeżeli nie jest możliwe całkowite usunięcie przyczyn powstawania wad, należy podjąć działania zwiększające możliwość ich wykrycia lub zmniejszenia niekorzystnych skutków ich wystąpienia. Realizację zalecanych działań naprawczych należy ciągle nadzorować, a ich efekty poddawać weryfikacji [8].

### 3. Wyniki i ich omówienie

Zastosowana metoda FMEA pozwala na określenie stopnia ryzyka wystąpienia niezgodności. Stopień ryzyka wyznacza się z iloczynu liczby priorytetowej występowania, liczby priorytetowej wykrycia oraz liczby priorytetowej znaczenia.

Analizę FMEA przeprowadzono dla wybranego wyrobu mleczarskiego, jakim jest ser typu mozzarella. Celem przykładowej analizy jest identyfikacja potencjalnych wad produktu oraz ich eliminacja lub minimalizacja skutków.

W wyniku analizy rodzajów i skutków błędów (tabela 1) ustalono najistotniejsze przyczyny zdefiniowanych błędów występujących w procesie produkcyjnym mozzarelli. Po obliczeniu liczby priorytetowej ryzyka należy wprowadzić działania naprawcze, aby zminimalizować ryzyko wystąpienia błędu.

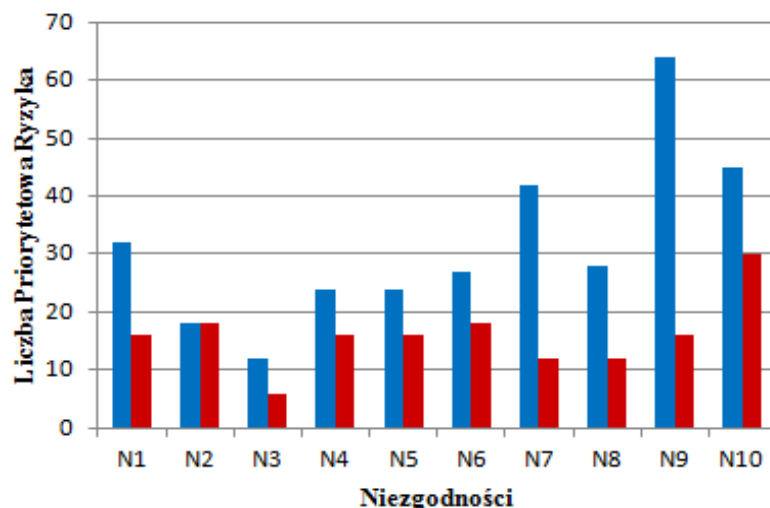
Tabela 1. Analiza FMEA [opr. własne]

Lp.	Rodzaj błędu	Skutek błędu	Przyczyna błędu	Ocena				Działania naprawcze	Ocena po działaniach naprawczych			
				LPO	LPW	LPZ	LPR		LPO	LPW	LPZ	LPR
N1	Zła jakość surowca	Gorzki smak sera	Niska jakość pasz	2	4	4	32	Zmiana paszy na lepszą	2	2	4	16
N2	Niewłaściwe formowanie	Nieprawidłowy kształt sera	Za słabe ciśnienie formowania	3	2	3	18	Regulacja ciśnienia w formierkach	3	2	3	18
N3	Niewłaściwe solenie	Dwubarwność mięszu, zewnętrzna warstwa jest jaśniejsza	Za niska temperatura solanki	3	2	2	12	Regulacja temperatury solanki	3	1	2	6
N4	Niedokładne rozprowadzenie podpuszczki	Plamy w serze	Zbyt krótki czas mieszania	4	3	2	24	Kontrola czasu mieszania	4	2	2	16

N5	Niedokładne wymieszanie zakwasu	Plamy w serze	Uszkodzenie mieszadła w kotle serowarskim	4	3	2	24	Naprawa mieszadła	4	2	2	16
N6	Nie przestrzeganie parametrów technologicznych	Niski poziom wody w serze	Wysoka temperatura w kotle serowarskim	3	3	3	27	Regulacja temperatury w kotle serowarskim	3	2	3	18
N7	Nadmierne ukwaszenie ziarna, a następnie masy serowej	Krucha konsystencja sera	Uszkodzenie urządzenia do pomiaru pH	2	7	3	42	Naprawa urządzenia	1	4	3	12
N8	Zbyt niski stopień ukwaszania ziarna, a następnie masy serowej	Gunowata konsystencja sera	Zła jakość zakwasu	2	7	2	28	Zmiana dostawcy zakwasu	2	3	2	12
N9	Występowanie bakterii z typu coli	Wzdęcia sera	Wtórne zanieczyszczenie	2	4	8	64	Dokładna kontrola czystości urządzeń	1	2	8	16
N10	Zbyt wysoka temperatura dojrzewania	Pęknięcie sera	Błąd pracownika	3	3	5	45	Regulacja temperatury w dojrzewalni	3	2	5	30

Z przeprowadzonej analizy FMEA wynika, iż największa priorytetowa liczba ryzyka ma miejsce w przypadku niezgodności N9 - wystąpienia bakterii z typu coli. Liczba priorytetowa ryzyka danej niezgodności wynosi 64, natomiast liczba priorytetowa znaczenia wynosi 8. Znaczenie wady jest duże i jest wywołane niemożnością użycia wyrobu zgodnie z przeznaczeniem. Występująca w produktach żywnościowych bakteria z typu coli może powodować zatrucia pokarmowe oraz schorzenia żołądkowo-jelitowe. Ta cyfra świadczy o bardzo dużym niezadowoleniu klienta, gdyż ta niezgodność skutkuje wzdęciami sera. Wysokie niezadowolenie klienta może negatywnie wpływać na wizerunek firmy. Występująca niezgodność przyczynia się do utraty klientów. W celu wyeliminowania tej niezgodności konieczne jest wprowadzenie bardziej rygorystycznej kontroli czystości urządzeń.

Na rysunku 1 przedstawiono liczbę priorytetową ryzyka przed i po wprowadzeniu działań korygujących.



Rys.1 Porównanie wyników LPR analizy FMEA [opr. własne]

Można zauważyć, że liczba priorytetowa ryzyka wystąpienia bakterii z typu coli pozytywnie uległa zmianie. Z 64 zmniejszyła się na 16, co świadczy o zastosowaniu prawidłowego działania korygującego. W przypadku pozostałych niezgodności LPR również znacznie się zmniejszyła.

#### 4. Podsumowanie

W przykładowej analizie FMEA wzięto pod uwagę wszystkie występujące niezgodności i określono te z największym ryzykiem. Następnie dla każdej niezgodności ustalono działania zapobiegawcze.

Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić jakie korzyści przynosi metoda FMEA:

- rozpoznawanie błędów i ocena ryzyka na etapie projektowania, eliminowanie rozwiązań konstrukcyjnych i przyczyn powstawania w czasie wytwarzania niezgodności, które mogą być przyczynami uszkodzeń w czasie eksploatacji wyrobu,
- wykrywanie niebezpiecznych materiałów i potencjalnie słabych miejsc,
- zapobieganie wzrostowi kosztów wyrobów, powodowanych przez wprowadzenie zmian w zaawansowanej konstrukcji i opracowanej technologii wytwarzania,
- unikanie dodatkowych nakładów pracy-powtórny projekt,
- stabilizacja procesu produkcyjnego-zmniejszenie zmian,
- zminimalizowanie okresu rozwoju wyrobu,
- zmniejszenie kosztów napraw gwarancyjnych,
- obniżenie kosztów jakości,
- zwiększenie zadowolenia klienta z wyrobu i pozyskanie jego zaufania do firmy.

Dzięki poprawnemu przeprowadzeniu analizy FMEA, a także jej właściwemu udokumentowaniu dostarcza ona wszelkich dowodów zdolności firmy do świadczenia usług oraz wytwarzania wyrobów o wysokiej i stabilnej jakości. Należy jednak podkreślić, że FMEA to narzędzie od którego nie należy oczekiwać generowania gotowych rozwiązań, w jaki sposób usuwać przyczyny wad. Daje ono przede wszystkim wskazania, które miejsca w wyrobie, konstrukcji lub w procesie mają charakter krytyczny, i informuje dlaczego tak jest.

#### Literatura

- [1] Hamrol A. Zarządzanie jakością z przykładami. PWN. Warszawa 2013.
- [2] Bajer-Marczak R. Doskonalenie zarządzania jakością procesów i produktów w organizacjach. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu. Wrocław 2015.
- [3] Sak K. Zarządzanie jakością w przedsiębiorstwie mleczarskim. Praca inżynierska. Wydział Zarządzania, Politechnika Częstochowska, 2017.
- [4] Hamrol A., Mantura W. Zarządzanie jakością. Teoria i praktyka. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 200438.
- [5] Yang CS., Zou YN., Lai PH., Jiang N. Data mining-based methods for fault isolation with validated FMEA model ranking. Applied Intelligence, 2015, vol. 43, iss. 4, s. 913-923.
- [6] Folejewska A. Analiza FMEA – zasady, komentarze, arkusze. Wydawnictwo Verlag Dashofer Sp. z o.o, Warszawa 2010.
- [7] Szymula M. Standardy jakości o szczególnym znaczeniu dla przemysłu motoryzacyjnego. Problemy Jakości, 2005, Nr 8.
- [8] Żukowski J., Łagowski E. Narzędzia i metody doskonalenia jakości. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej. Radom 2004.