

KONCEPCJA WYKORZYSTANIA METODY FMEA DLA POTRZEB ZRÓWNOWAŻONEGO WYTWARZANIA

Patrycja HĄBEK
Politechnika Śląska

WPROWADZENIE

Sposób w jaki przedsiębiorstwa prowadzą swoją działalność, a w szczególności te produkcyjne, ma istotne znaczenie w osiągnięciu celów zrównoważonego rozwoju. Chcąc sprostać coraz większym oczekiwaniom ze strony klientów, inwestorów i lokalnej społeczności stoją one przed zadaniem prowadzenia swoich działań operacyjnych w sposób odpowiedzialny, środowiskowo i społecznie. W związku z tym coraz więcej przedsiębiorstw zmienia swoje procesy wytwórcze na bardziej zrównoważone. W tym celu nieuniknione jest stosowanie praktyk, które eliminują lub przynajmniej ograniczają negatywny wpływ procesów wytwórczych na społeczeństwo i środowisko. Celem niniejszego artykułu jest zwrócenie uwagi na możliwość wykorzystania metody FMEA – analizy przyczyn i skutków wad we wdrażaniu koncepcji zrównoważonego wytwarzania.

ISTOTA KONCEPCJI ZRÓWNOWAŻONEGO WYTWARZANIA

Zrównoważony proces wytwarzania jest istotnym elementem zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstwa, który prowadzi do tworzenia trwałej wartości opartej na wynikach w zakresie ekonomicznym, społecznym i ekologicznym. Pojęcie zrównoważonego wytwarzania (ang. sustainable manufacturing) bywa mylnie utożsamiane i ograniczane do tzw. „zielonej produkcji” (ang. green manufacturing). Termin „green manufacturing” zwykle sprowadza się do produkcji charakteryzującej się ograniczaniem zużycia energii na jednostkę produkcji, wykorzystywaniem materiałów z recyklingu czy ograniczaniem ilości powstających odpadów. Jeżeli jednak mowa o zrównoważonym wytwarzaniu potrzebna jest analiza procesu produkcyjnego uwzględniająca wszystkie wymiary zrównoważonego rozwoju: ekonomiczny, społeczny i środowiskowy. Zrównoważone wytwarzanie rozumiane jest jako tworzenie wyrobów, z wykorzystaniem procesów, które minimalizują negatywne skutki dla środowiska, oszczędzają energię i zasoby naturalne, są bezpieczne dla pracowników, społeczności i konsumentów oraz są korzystne pod względem ekonomicznym [1]. Uwzględniając założenia zrównoważonego wytwarzania producenci zapewniają, że prowadzona przez nich działalność jest odpowiedzialna i nie zagraża środowisku oraz potencjalnym klientom. Dobre praktyki związane ze zrównoważonym wytwarzaniem polegają na wykorzystywaniu w procesie produkcyjnym alternatywnych źródeł energii (energii słonecznej, wiatru oraz paliw biodegradowalnych). Kolejnym ważnym aspektem jest dążenie do obniżania materiałochłonności i energochłonności produkcji, czyli efektywności wykorzystywania zasobów. W zrównoważonym wytwarzaniu dużą uwagę

poświęca się również znaczeniu czynnika ludzkiego w procesie produkcji. Uczciwe płace, humanitarne planowanie pracy, gwarantowanie bezpiecznych warunków pracy stanowią element procesu tworzenia zrównoważonych produktów. Ponadto, producenci powinni zapewnić, że każda usługa zlecana na zewnątrz odpowiada tym samym warunkom i wymogom jakie obowiązują w zakładzie macierzystym. Wynikiem zrównoważonego procesu wytwarzania powinien być produkt cechujący się możliwością pełnego recyklingu, aby stanowić surowiec dla wyprodukowania nowego produktu. Cykl życia takiego produktu jest określany od „kołyski do kołyski” (ang. cradle-to-cradle) [6]. Należy mieć na uwadze, że konkretne działania operacyjne zawsze będą uzależnione od stosowanych w procesie wytwarzania technologii oraz specyfiki poszczególnych branż.

Podsumowując, zrównoważone wytwarzanie odnosi się do tworzenia produktów bezpiecznych i ekologicznie przyjaznych w całym cyklu ich życia, wykorzystując w tym celu procesy realizowane w godnych i bezpiecznych dla pracowników warunkach, dzięki którym zmniejszeniu ulegnie materiałochłonność, energochłonność produkcji, wielkość emisji zanieczyszczeń, a zwiększeniu stopień ponownego wykorzystania materiałów bądź odpadów z równoczesnym uwzględnieniem wpływu tych procesów i produktów na społeczeństwo oraz wyniki finansowe przedsiębiorstwa.

ANALIZA PRZYCZYŃ I SKUTKÓW WAD

Analiza przyczyn i skutków wad (ang. Failure Modes and Effects Analysis - FMEA) jest systematycznym podejściem do identyfikowania możliwych, potencjalnych wad ujawniających się w procesie projektowania, produkcji, montażu czy eksploatacji. Pierwsze zastosowania metody FMEA miały miejsce w latach 60-tych ubiegłego wieku w przemyśle kosmicznym, następnie w latach 70-tych w przemyśle zbrojeniowym a następnie motoryzacyjnym. Obecnie metoda jest powszechnie stosowana w różnych procesach nie tylko produkcyjnych, ale i usługowych. Pojęcie wady “failure modes” użyte w nazwie metody jest interpretowane szeroko i odnosi się do wszelkich stanów niepożądanych w analizowanym systemie. Stanami niepożądanymi mogą być wszelkie błędy, awarie, niezgodności, w szczególności te które mogą mieć wpływ na klienta, zarówno te potencjalne, jak i rzeczywiste. Analiza skutków (ang. effects analysis) odnosi się do badania konsekwencji wynikających z zaistnienia owych stanów niepożądanych. Zidentyfikowane wady zostają poddane hierarchizacji w zależności od tego jak poważne są ich następstwa, jak często występują i jak łatwo można je wykryć. Celem metody FMEA jest podejmowanie działań mających na celu eliminację lub ograniczenie stanów niepożądanych, poczynawszy od tych o najwyższym priorytecie. Analiza przyczyn i skutków wad służy również do dokumentowania aktualnego stanu wiedzy i działań podejmowanych w zakresie minimalizacji ryzyka wystąpienia stanów niepożądanych, które to informacje mogą zostać wykorzystane w procesie ciągłej poprawy procesu/produktu [7].

Priorytetyzacji stanów niepożądanych dokonuje się z wykorzystaniem współczynnika poziomu ryzyka (ang. *risk priority number*). Współczynnik poziomu ryzyka (WPR) określa poziom ryzyka związany z danym stanem niepożądanym w analizowanym systemie. Wartość WPR oblicza się zgodnie ze wzorem:

$$WPR = Z_n \times C_z \times W_y \quad (1)$$

gdzie:

Z_n – znaczenie wady,

C_z – prawdopodobieństwo wystąpienia wady,

W_y – możliwość wykrycia wady.

Każdy z parametrów może przyjąć wartość w skali od 1 do 10 (tabela 1).

Współczynnik poziomu ryzyka może przyjąć maksymalną wartość 1000. W praktyce stosuje się arbitralnie ustalone granice tego współczynnika, które można określić jako poziom akceptowalności ryzyka. Często przyjmuje się, że wartość WPR poniżej 120 dla wady oznacza akceptowalny poziom ryzyka. W takim przypadku nie ma konieczności wprowadzania działań zapobiegawczych [4].

Tabela 1 Kryteria szacowania poszczególnych parametrów dla obliczenia współczynnika poziomu ryzyka (WPR)

Znaczenie wady [Zn]		Prawdopodobieństwo wystąpienia [Cz]		Wykrywalność wady [Wy]	
1	bez znaczenia	1	znikome	1	bardzo wysoka
2-3	niskie	2-3	sporadyczne	2-5	wysoka
4-6	umiarkowane	4-6	umiarkowane	6-8	umiarkowana
7-8	wysokie	7-8	wysokie	9	niska
9-10	bardzo wysokie	9-10	bardzo wysokie	10	przypadkowa

Źródło: [4]

Analiza FMEA składa się z dwóch etapów. W pierwszym etapie identyfikowane są potencjalne wady, stany niepożądane oraz szacowane są parametry znaczenia wady, częstotliwości wystąpienia oraz możliwości ich wykrycia. Następnie obliczany jest współczynnik poziomu ryzyka dla każdej zidentyfikowanej wady, który umożliwi ich priorytetyzację. W drugim etapie określone są działania zapobiegawcze. Po zrealizowaniu tychże działań obliczany jest ponownie współczynnik WPR i cykl w drugim etapie prowadzenia analizy jest powtarzany do momentu uzyskania akceptowalnego poziomu ryzyka [2]. Wyniki analizy FMEA służą jako podstawa do wprowadzania zmian w procesie projektowania lub produkcji produktów mając na celu zmniejszenie ryzyka wystąpienia wad zidentyfikowanych jako krytyczne [5]. Jeśli nie jest możliwe całkowite wyeliminowanie przyczyn usterki, podejmowane są działania mające na celu zwiększanie zdolności do ich wykrywania lub zmniejszanie negatywnych skutków ich występowania. Realizacja zalecanych działań naprawczych powinna być stale monitorowana, a ich skutki poddawane weryfikacji.

W niniejszym artykule autorka zwraca uwagę na możliwość wykorzystania metody FMEA do usprawniania procesów w myśl koncepcji zrównoważonego

wytwarzania. Modyfikacja metody FMEA polega na tym, że potencjalne zagrożenia/stany niepożądane w procesie analizowane są z uwzględnieniem trzech wymiarów zrównoważonego rozwoju. Praktyki zrównoważonego wytwarzania mają zapewniać odpowiedzialną, nie zagrażającą środowisku, pracownikom oraz społeczności produkcję. Aby procesy wytwórcze uczynić bardziej zrównoważonymi analizie warto poddać procesy związane z wczesnymi etapami cyklu życia wyrobu. Procesem wybranym do analizy w niniejszym artykule jest proces zakupów dotyczący nowych uruchomień w branży motoryzacyjnej.

PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA ZMODYFIKOWANEJ METODY FMEA W PROCESIE ZAKUPÓW DLA NOWYCH URUCHOMIEŃ

W przemyśle samochodowym wprowadzenie na rynek nowego produktu powoduje z reguły potrzebę zmian w technologii produkcji, zmianę organizacji pracy linii produkcyjnej, itp. (mamy do czynienia z sekwencją: nowy produkt – nowa technologia – nowa organizacja pracy i nowa organizacja produkcji) [3]. O tym, że proces zakupów dla nowych uruchomień może mieć kluczowe znaczenie dla zrównoważonego wytwarzania świadczyć może długi cykl prac rozwojowych w przemyśle motoryzacyjnym, który znacznie wyprzedza wprowadzenie produktu na rynek. W związku z tym decyzje podjęte w procesie zakupów dla nowego uruchomienia produkcji będą miały wpływ na procesy wytwórcze realizowane w przyszłości. Dlatego istotnym jest aby już na tym etapie uwzględniać założenia zrównoważonego wytwarzania. W celu gruntownej analizy procesu w pierwszej kolejności należy określić zakres procesu, jego wejścia, wyjścia, dostawców oraz strony zainteresowane (tab. 2).

Tabela 2 Identyfikacja procesu zakupów dla nowych uruchomień

DOSTAWCY	WEJŚCIA	PROCES	WYJŚCIA	STRONY ZAINTERESOWANE
<ul style="list-style-type: none"> • Konstrukcja • Sprzedaż • Dostawcy materiałów, maszyn i urządzeń 	<ul style="list-style-type: none"> • lista materiałów, maszyn i urządzeń, • dane do projektu: ilość (szt.), czas trwania projektu, kamienie milowe (rozpoczęcie produkcji, termin prototypów i pierwszej partii) • zapytania ofertowe • kryteria oceny dostawców 	<p>Zakupy (produkcyjne, nieprodukcyjne) dla nowego uruchomienia</p>	<ul style="list-style-type: none"> • lista dostawców z określonymi warunkami handlowymi • pierwsza partia produkcyjna • kupione maszyny i urządzenia 	<ul style="list-style-type: none"> • właściciele • kierownictwo • środowisko • dział produkcji, inżynieringu i jakości, • potencjalni dostawcy • klienci • społeczność lokalna

Źródło: opracowanie własne

Podczas analizy wybranego procesu powinien zostać wyłoniony zespół między funkcyjny składający się z różnych grup ekspertów zaangażowanych w proces (np. inżyniering, zakupy, rozwój produktu, środowisko, bezpieczeństwo), którego zadaniem będzie wypełnienie formularza FMEA uwzględniającego założenia zrównoważonego

Projekt jest współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego oraz z budżetu państwa RP "Przekraczamy Granice"

wytwarzania (tabela 3).

Tabela 3 Arkusz FMEA dla procesu zakupów uwzględniający aspekty zrównoważonego wytwarzania

NAZWA PROCESU: Zakupy pośrednio i bezpośrednio produkcyjne dla nowych uruchomień	STANY NIEPOŻĄDANE	SKUTKI	Zn	PRZYCZYNY	Cz	BIEŻĄCA KONTROLA	Wy	WPR	DZIAŁANIA DOSKONALĄCE	Zn	Cz	Wy	WPR
Ekonomiczny	Za wysoka cena kupowanych materiałów w stosunku do zaliczeń projektowych	Strata dla przedsiębiorstwa, niekonkurencyjny wyrób pod względem cenowym	5	Wybór niekonkurencyjnych dostawców	4	Zasada wyboru dostawców (min. 3 oferty)	3	60					
	Niedotrzymanie terminu uruchomienia produkcji	Utrata klienta, kary pieniężne, utrata wizerunku	6	Nieskuteczna negocjacje handlowe Brak nadzoru nad dostawcą	5	brak Uruchomienie zgodne z APQP	10	250	Cost estimator, market test, przetargi	5	2	2	20
Społeczny: Pracownicy	Niespełnienie wymagań technicznych przez wyrób	Kary pieniężne, utrata wizerunku, niezadowolenie klienta, obniżenie morale pracowników zaangażowanych w projekt	8	Błędna informacja dot. harmonogramu uruchomienia	4	Uruchomienie zgodne z APQP	2	48					
	Kupowane maszyny nie spełniają wymagań bezpieczeństwa	Zagrożenie życia i zdrowia pracowników kary wynikające z niezapewnienia bezpieczeństwa w miejscu pracy	10	Błędna specyfikacja Wadliwy proces	4	TFC	2	64					
	Szkodliwość/tokyczność kupowanych materiałów	Zagrożenie życia i zdrowia pracowników, kary wynikające z niezapewnienia bezpieczeństwa w miejscu pracy	10	Materialy niskiej jakości Błędy ludzkie	3	SPC	2	48					
Społeczny: Społeczności lokalne	Wybór dostawców niespełniających norm bezpieczeństwa pracy	Zagrożenie życia i zdrowia pracowników, kary wynikające z niezapewnienia bezpieczeństwa w miejscu pracy	10	Błędy ludzkie	4	Plan kontroli	4	96					
	Brak uwzględnienia w projekcie nowego uruchomienia lokalnych dostawców	Brak rozwoju firm lokalnych, zwiększona uciążliwość transportu	3	Brak dostatecznej wiedzy wśród pracowników działu zakupów	3	Plan kontroli, szkolenia	4	128	Szkolenie pracowników, Poka – Yoke	8	2	4	64
Środowiskowy	Wybór dostawców niespełniających norm środowiskowych	Zagrożenie zdrowia pracowników	6	Brak rozczniana rynku lokalnego	3	Ocena ryzyka	3	180	Szkolenie pracowników, Poka – Yoke; lesson learned	10	3	2	60
				Brak polityki wspierającej lokalnych dostawców	9	Odbiór techniczny	2	80					

TFC – Team Feasibility Commitment – potwierdzenie wykonalności; SPC – Statistical Process Control – statystyczna kontrola procesu; IMDS – International Material Data System – materiałowa baza danych

Źródło: opracowanie własne

W wybranym do analizy procesie (zakupy dla nowych uruchomień) potencjalne stany niepożądane zostały zidentyfikowane z uwzględnieniem trzech wymiarów zrównoważonego rozwoju: ekonomicznym, społecznym oraz środowiskowym. W wymiarze społecznym wyodrębnione zostały aspekty odnoszące się zarówno do pracowników, jak i do społeczności lokalnych. Po przeprowadzeniu analizy na wybranym przykładzie limit wskaźnika WPR został ustalony na poziomie 120. Dla tych wszystkich, zidentyfikowanych w procesie zakupów, stanów niepożądanych, których wartość wskaźnika WPR przekraczała 120 zostały zaproponowane działania doskonalące.

Zidentyfikowanych zostało pięć takich stanów niepożądanych, dwa odnoszące się do aspektów ekonomicznych, a trzy do aspektów społecznych. Dla zidentyfikowanych zagrożeń zaproponowane zostały działania doskonalące, a po ich wdrożeniu osiągnięty został akceptowalny poziom ryzyka (tabela 3).

PODSUMOWANIE

W niniejszym artykule autorka zwraca uwagę na możliwość wykorzystania metody FMEA do usprawniania procesów w myśl koncepcji zrównoważonego wytwarzania. Zaproponowana modyfikacja metody FMEA na przykładzie procesu zakupów dla nowych uruchomień pozwoliła określić wpływ analizowanego procesu na wyniki ekonomiczne, środowiskowe i społeczne oraz zidentyfikować potencjalne ryzyko związane z jego realizacją.

Realizacja metody FMEA wymaga zaangażowania interdyscyplinarnego zespołu. W związku z tym dodatkową korzyścią ze stosowania jej rozszerzonej wersji może być podniesienie świadomości pracowników w zakresie wpływu wywieranego przez realizowane w przedsiębiorstwie procesy na wyniki ekonomiczne, społeczne i środowiskowe. Z kolei zmiana mentalności wśród pracowników przyczyni się do budowania kultury organizacyjnej sprzyjającej dalszym zmianom w kierunku zrównoważonego wytwarzania.

LITERATURA

1. definicja zrównoważonego wytwarzania zaproponowana przez United States Environmental Protection Agency, <https://www.epa.gov/sustainability/sustainable-manufacturing> 21.07.2016
2. K. Midor. "An analysis of the causes of product defects using quality management tools". *Management Systems in Production Engineering*, 16(4), pp.162–167, 2014.
3. K. Pałucha. „Wybrane problemy uruchamiania nowej produkcji”. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria: Organizacja i Zarządzanie*, z.56, pp.215-237, 2011.
4. M. Molenda, P. Hąbek, B. Szczęśniak. *Zarządzanie jakością w organizacji. Wybrane zagadnienia*, Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, pp. 96-104, 2016.
5. M. Zasadzień. "Using the Pareto Diagram and FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) to Identify Key Defects in a Product". *Management Systems in Production Engineering*, 4(16), pp.153–156, 2014.

6. Por. How to use sustainable manufacturing practices, http://businessknowledgesource.com/manufacturing/how_to_use_sustainable_manufacturing_practices_031357.html, 03.03.2017
7. R. Wolniak. „Wspomaganie metody FMEA w przedsiębiorstwie produkcyjnym”. Problemy Jakości, 43(1), pp.15–21. 2011.

Data przesłania artykułu do Redakcji: 04.2017

Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 05.2017

dr inż. Patrycja Hąbek

Politechnika Śląska

Wydział Organizacji i Zarządzania

Instytut Inżynierii Produkcji

ul. Roosevelta 26-28, 41-800 Zabrze, Polska

tel. +4832 277 73 47, e-mail: patrycja.habek@polsl.pl

**KONCEPCJA WYKORZYSTANIA METODY FMEA
DLA POTRZEB ZRÓWNOWAŻONEGO WYTWARZANIA**

Streszczenie: Zrównoważone wytwarzanie polega na zapewnianiu, że opłacalne ekonomicznie procesy wytwórcze nie zagrażają środowisku naturalnemu, są realizowane w sposób bezpieczny dla zdrowia i życia pracowników oraz społeczeństwa. Powstaje zatem pytanie w jaki sposób usprawniać procesy wytwarzania aby uczynić je bardziej zrównoważonymi? Na tak postawione pytanie nie sposób odpowiedzieć jednoznacznie. Autorka artykułu zwraca uwagę na możliwość wykorzystania w tym celu metody FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), której celem jest identyfikowanie potencjalnych wad produktu/procesu, a następnie ich eliminowanie lub minimalizowanie ryzyka z nimi związanego. W artykule zaproponowana zostanie modyfikacja tej metody dla zastosowania jej w procesie zrównoważonego wytwarzania.

Słowa kluczowe: zrównoważone wytwarzanie, analiza przyczyn i skutków wad, FMEA, nowe uruchomienie produkcji, zakupy

THE CONCEPT OF USING FMEA METHOD FOR SUSTAINABLE MANUFACTURING

Abstract: Sustainable manufacturing is to ensure that cost-effective manufacturing processes do not endanger the environment, are implemented in a way that is safe for life and health of employees and the public. The question then arises of how to improve manufacturing processes to make them more sustainable? Such a question cannot be answered unequivocally. The author draws attention to the possibility of using for that purpose FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) method, which aims to identify potential defects in the process/product and then eliminate them or minimize the risks associated with them. In the article it will be proposed modification of this method for using it in the process of sustainable manufacturing.

Key words: sustainable manufacturing, failure mode and effects analysis, FMEA, manufacturing launch, purchasing