

Joanna MIKOŁAJCZYK*

WYKORZYSTANIE ANALIZY FMEA WE WSPÓŁCZESNEJ KONCEPCJI UTRZYMANIA RUCHU – RCM

Celem niniejszego artykułu jest analiza możliwości wykorzystania analizy przyczyn i skutków wad (FMEA) na potrzeby wdrażania jednej ze współczesnych koncepcji utrzymania ruchu, jaką jest utrzymanie ruchu ukierunkowane na niezawodność (ang. *reliability centered maintenance* – RCM). W artykule omówiono zakres działań utrzymania ruchu, pokrótce przedstawiono ewolucję koncepcji utrzymania ruchu oraz rolę FMEA jako narzędzia wspierającego realizację koncepcji RCM.

Słowa kluczowe: utrzymanie ruchu, RCM (*reliability centred maintenance*), FMEA (*failure mode and effects analysis*), drzewo logiczne

1. WPROWADZENIE

Utrzymanie ruchu to zespół działań mających na celu zapewnienie ciągłości produkcji lub, gdy to jest niemożliwe skrócenie czasów przestojów do minimum, utrzymanie maszyn w dobrym stanie technicznym (przeglądy, naprawy, konserwacje), a także sprawne usuwanie awarii i usterek z zachowaniem bezpieczeństwa ludzi i środowiska naturalnego.

Sposób prowadzenia działań na rzecz utrzymania sprawności maszyn i urządzeń produkcyjnych zmieniał się na przestrzeni lat od awaryjnego utrzymania ruchu (*breakdown maintenance*) przez utrzymanie zapobiegawcze (*preventive maintenance*), polegające głównie na planowanych remontach, aż po coraz powszechniej stosowane w ostatnich latach strategie utrzymania oparte na bieżącej ocenie stanu technicznego. Współcześnie utrzymanie ruchu obiektów technicznych jest zazwy-

* Studentka studiów II stopnia, kierunek zarządzanie, Wydział Inżynierii Zarządzania, Politechnika Poznańska.

czaj połączeniem wyżej wymienionych modeli i opiera się na następujących zasadach [13]:

- zapewnienie pełnienia funkcji przez maszyny i urządzenia, a nie tylko utrzymanie ich w ruchu,
- unikanie, redukcja lub eliminowanie uszkodzeń, a nie tylko zapobieganie im,
- uwzględnienie w celach utrzymania ruchu wpływu na bezpieczeństwo ludzi i środowisko naturalne, jakości produktu i poziomu obsługi klientów, a nie tylko kosztów,
- określanie częstotliwości działań w celu utrzymania ruchu na podstawie symptomów awarii, a nie na podstawie wskaźników awaryjności maszyn i urządzeń,
- samodzielne opracowywanie programów utrzymania ruchu w przedsiębiorstwie z rozsądnym uwzględnieniem zaleceń producenta, przy czym nie jest on traktowany jako jedyny uprawniony do ich opracowania,
- opracowywanie programów utrzymania ruchu przez służbę utrzymania ruchu i operatorów, a nie tylko przez służbę utrzymania ruchu,
- uznanie niepewności podczas wyboru metody utrzymania ruchu jako stałego elementu związanego z podejmowaniem decyzji,
- traktowanie utrzymania ruchu jako strategicznego obszaru przedsiębiorstwa, a nie tylko jako gospodarki „pomocniczej”.

Do ważniejszych współcześnie wykorzystywanych w przedsiębiorstwach koncepcji zarządzania utrzymaniem ruchu zaliczamy *Total Productive Management* (TPM) oraz *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Celem niniejszego artykułu jest analiza efektywności stosowania współczesnej koncepcji utrzymania ruchu, jaką jest utrzymanie ruchu ukierunkowane na niezawodność (ang. *Reliability Centered Maintenance* – RCM) z wykorzystaniem FMEA.

2. UTRZYMANIE RUCHU ZORIENTOWANE NA NIEZAWODNOŚĆ (RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE – RCM)

W 1978 r. F. Stanley Nowlan i Howard Heap z United Airlines przygotowali dla ministerstwa obrony USA raport zatytułowany „Reliability – Centered Maintenance” (Utrzymanie ruchu zorientowane na niezawodność). W raporcie tym przedstawiono podstawy formułowania strategii utrzymania ruchu zwanej MSG3 – Maintenance Steering Group 3. MSG3 został opublikowany w 1980 r. i pod tą nazwą jest znany i stosowany w przemyśle lotniczym. Poza przemysłem lotniczym ta koncepcja jest znana jako RCM.

Podejście to jest definiowane jako „proces stosowany do określenia wymagań co do utrzymania obiektu technicznego w kontekście bieżących zadań produkcyjnych tego obiektu” [16]. Istota RCM jest określona na podstawie siedmiu pytań

(rys. 1). Udzielając na nie odpowiedzi, otrzymujemy zbiór zadań, które należy wykonać podczas analizy [12]:

- określenie funkcji badanego obiektu zgodnie z zasadą „od ogółu do szczegółu”,
- identyfikację możliwych sytuacji awaryjnych, uszkodzeń, odchyłeń powodujących utratę funkcjonalności analizowanego obiektu,
- określenie przyczyn sytuacji zagrażających powodzeniu procesu,
- określenie wpływu otoczenia na proces, pracowników, maszyny i urządzenia,
- określenie konsekwencji widocznych (mających wpływ na bezpieczeństwo, mających wpływ na działalność operacyjną i niemających wpływu na działalność operacyjną) oraz ukrytych,
- określenie działań zapobiegawczych i ich częstotliwości,
- określenie działań korygujących.

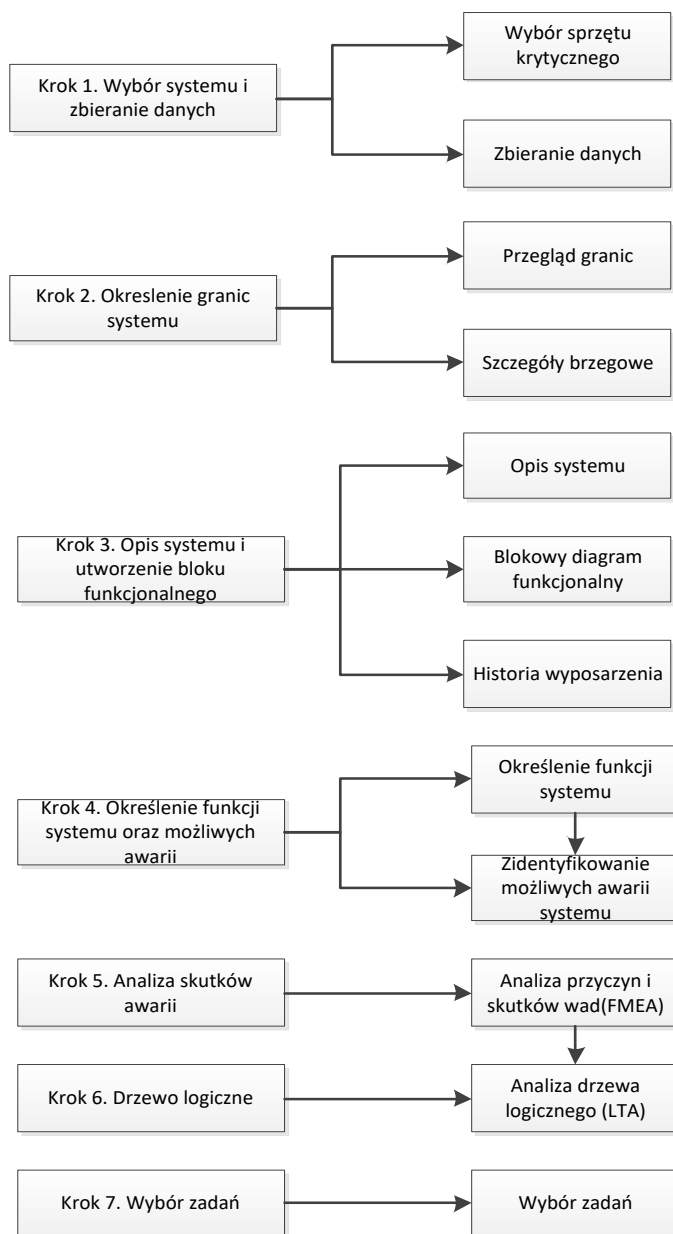


Rys. 1. Siedem pytań do procesu RCM (oprac. własne na podstawie [12])

Głównym celem RCM jest zwiększenie wydajności produkcji przez zwiększenie wydajności sprzętu. Jednym z najważniejszych narzędzi wspomagających proces RCM jest analiza przyczyn i skutków wad – FMEA (ang. *failure mode of effects analysis* – FMEA). Z wykorzystaniem analizy FMEA uzyskuje się odpowiedzi na wszystkie postawione pytania.

Podczas wdrażania RCM stosuje się podejście systemowe. Pozwala ono na ochronę funkcji systemu, identyfikację możliwych uszkodzeń, wskazanie uszkodzeń krytycznych oraz zadań dla prewencyjnego utrzymania ruchu [11].

Główne kroki RCM zostały przedstawione na rys. 2.

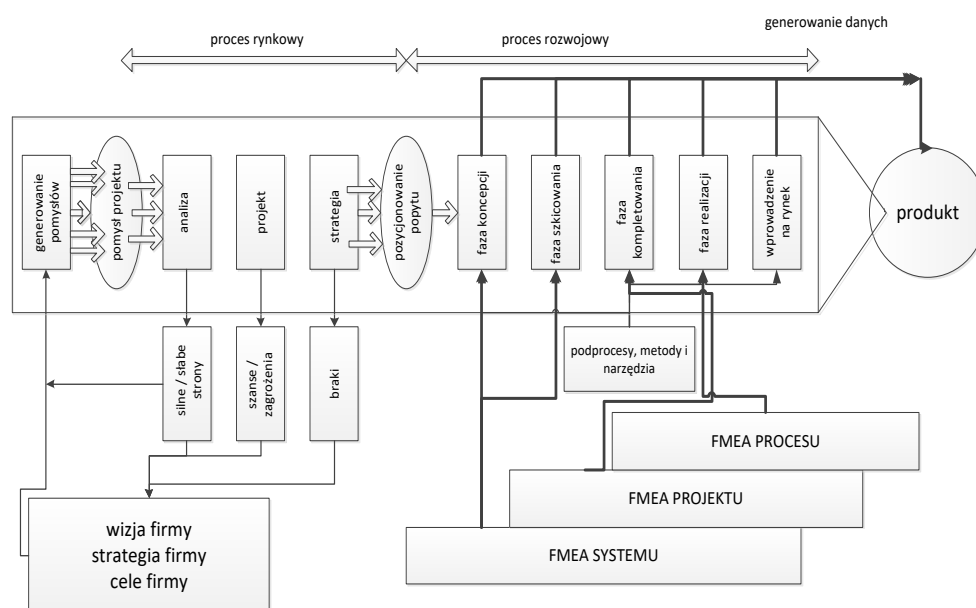


Rys. 2. Główne kroki RCM [1]

RCM dobrze sprawdza się zarówno w małych i średnich przedsiębiorstwach, jak i w dużych firmach, niezależnie od branży [3, 10, 14].

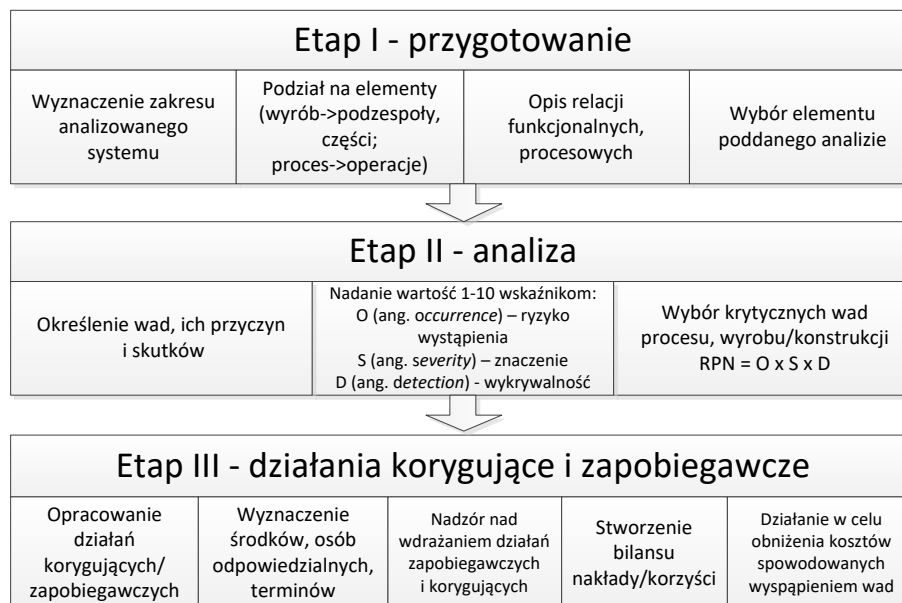
3. ANALIZA PRZYCZYŃ I SKUTKÓW WAD

Analiza przyczyn i skutków wad (ang. *failure mode and effects analysis* – FMEA) to metoda służąca do podwyższania jakości, której celem jest eliminacja wad procesu, wyrobu lub konstrukcji, a także czerpanie wiedzy z przeprowadzonych analiz i wykorzystywanie jej do zapobiegania występowaniu wad w nowych wyrobach i procesach. Początkowo stosowano ją w przypadku produktów, które trudno było naprawiać, np. satelitów. Z biegiem czasu została przyjęta w przemyśle motoryzacyjnym, medycznym i związanym z technologią jądrową. Współcześnie stosuje się ją już we wszystkich dziedzinach w odniesieniu niemal do każdego rodzaju produktów oraz procesów, na wszystkich etapach rozwoju, począwszy od projektowania, przez produkcję aż do eksploatacji [2, 9, 21, 7, 8].



Rys. 3. Integracja metod FMEA z etapami rozwoju produktu [2]

Analiza ryzyka metodą FMEA składa się z trzech etapów. Pierwszy to zebranie materiałów, drugi to analiza właściwa, a trzeci to zaproponowanie działań korygujących i zapobiegawczych (rys. 4).



Rys. 4. Etapy analizy FMEA (oprac. własne na podstawie [8])

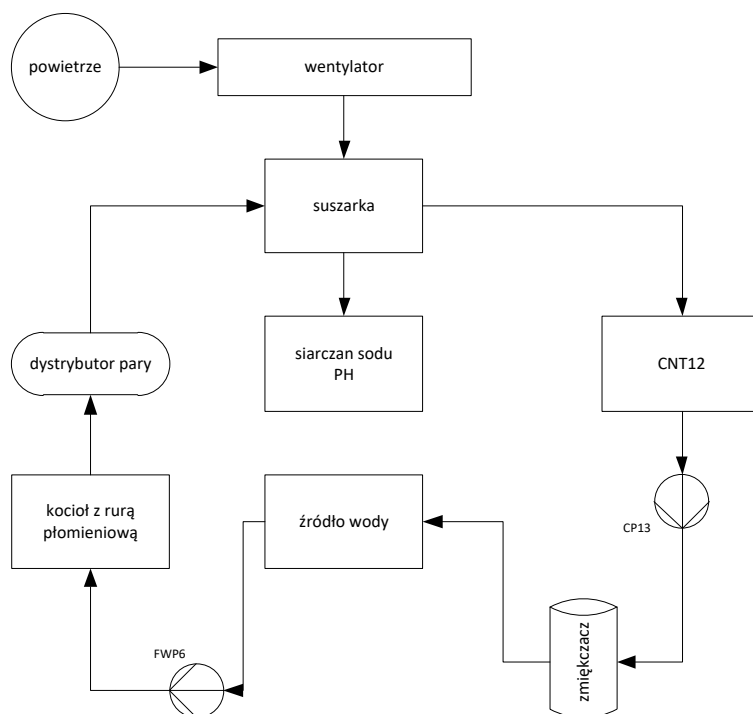
To powszechnie akceptowane podejście do FMEA ma swoje wady. Jedną z nich jest to, że wartości różnych scenariuszy ryzyka reprezentowanych przez różne wartości *S* (ang. *severity* – znaczenie (dotkliwość)), *O* (ang. *occurrence* – ryzyko wystąpienia) i *D* (ang. *detection* – wykrywalność) generują różne wartości *RPN* (wskaźnik priorytetu). Metoda nie pozwala odróżnić, który z czynników ma najwyższą rangę. Inną wadą jest to, że zespół FMEA może uśrednić wartości *S*, *O* i *D*, gdy istnieje różnica zdań, związku z czym wartości *RPN* mogą być identyczne w różnych przypadkach bez możliwości wyrażania skutków ryzyka. Problem ten rozważany był m.in. w [5, 6, 17, 18, 19].

Ważne jest również, aby pamiętać, że z użyciem metody analizy przyczyn i skutków wad nie uzyskuje się gotowych rozwiązań, lecz materiał, na podstawie którego można takie rozwiązania opracować [1].

4. ZASTOSOWANIE ANALIZY FMEA W KONCEPCJI RCM

Wykorzystanie metody FMEA w analizie RCM przedstawiono na przykładzie systemu parowego. System ten jest kluczowym elementem podczas wytwarzania bezwodnego chlorku sodu i bezwodnego siarczanu sodu [1]. Podczas tej operacji wykorzystuje się następujące urządzenia:

- kocioł płomieniówkowy służący do wytwarzania stężonej pary wodnej,
 - pompę wodną doprowadzającą wodę ze źródła do kotła,
 - zbiornik kondensatu,
 - suszarkę osuszającą parę wodną,
 - wymiennik ciepła (pH – poziom kwasowości lub zasadowości wodnych roztworów związków chemicznych).
 - zmiękcacz wykorzystywany do regulacji twardości wody,
 - dystrybutor pary wodnej służący do uwalniania pary wodnej pod odpowiednim ciśnieniem z kotła do następnego elementu.
- Uproszczony model procesu wytwarzania pary przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Uproszczony model procesu wytwarzania pary [2]

Kocioł płomieniówkowy jest typem kotła parowego. Jego działanie polega na przepływie gorących gazów powstających w wyniku spalania paliwa stałego, umieszczonego w palenisku, przez rury (zwane płomieniówkami) znajdujące się wewnątrz zbiornika kotła (zwanego walcakiem). Walczak jest wypełniony wodą, która podgrzewa się dzięki gazom przepływającym przez płomieniówki.

Rozgrzana woda zmienia się w parę i uwalnia się z walcaka przez kopułę na górze kotła. Para wodna wytwarzana w ten sposób ma wysokie stężenie.

Kocioł płomieniówkowy to obok kotła wodnego jeden z głównych typów kotłów. Potocznie nazywany jest kotłem spalinowym (dymnym) lub kotłem muszlowym.

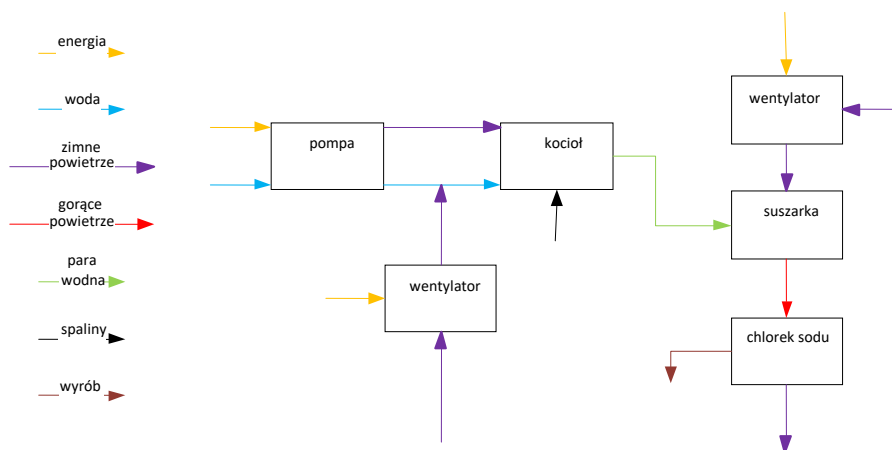
Wdrożenie RCM rozpoczyna się od wydzielenia systemu i określenia jego elementów. Czynniki, które należy uwzględnić podczas wyboru systemu, są m.in:

- średni czas między uszkodzeniami MTBF (ang. *mean-time between failures*),
- łączny koszt utrzymania ruchu (głównie związany z działalnością konserwacyjno-remontową oraz zakupem/produkcją części zamiennych maszyn i urządzeń),
- średni czas napraw MTTR (ang. *mean-time to repair*),
- dostępność.

Następnie należy zgromadzić informacje na temat systemu pamiętając o tym, że:

- każdy z elementów/systemu różni się od poprzedniego, a więc wymagane jest zbieranie innych informacji,
- skutki uszkodzeń poszczególnych elementów systemu mogą wpływać na wydajność całego procesu oraz na łączne koszty utrzymania ruchu.

Operacją krytyczną w procesie produkcji chlorek sodu jest dostarczanie energii cieplnej potrzebnej do operacji jego osuszania do postaci bezwodnego chlorku sodu. Kolejnym krokiem jest określenie granic analizowanej operacji i uporządkowanie dokumentacji (np. instrukcji obsługi urządzeń, danych historycznych dotyczących analizowanego systemu itd.). Granice określone w normalnym toku projektowania procesów i urządzeń z powodzeniem można wykorzystywać do identyfikacji granic operacji potrzebnych w RCM. Po określeniu granic operacji przystępuje się do kroku 3, czyli do opisu operacji oraz stworzenia bloku funkcjonalnego (rys. 6).



Rys. 6. Blokowy diagram funkcjonalny [1]

Kolejnym krokiem wdrażania RCM jest analiza źródłowych przyczyn wad. W analizie tej bierze się pod uwagę najbardziej krytyczne czynniki procesu. W tabeli 1 przedstawiono analizę uszkodzeń kotła i ich źródłowych przyczyn.

Tabela 1. Analiza źródłowych przyczyn wad kotła [1]

Wada	Mechanizm	Przyczyna	Przyczyna podstawowa
Niska wydajność kotła	komin	zbyt wysoka temperatura gazów w kominie	zbyt duży dostęp powietrza brudne kominy
	ciśnienie	niskie ciśnienie	za niski poziom wody słabe spalanie nadmierne wymagania parowe
	spalanie	gazy spawalnicze dostają się do paleniska	przedostanie się sadzy przez uszczelki obudowy
Korozja rur kotła	paliwo	wyciek paliwa na ścianki i przewody pieca	niewłaściwe: lepkość, ciśnienie lub temperatura paliwa nieprawidłowa atomizacja zespołów woda w paliwie
		wysokie spalanie paliwa	nagła zmiana zapotrzebowania na parę zbyt duży lub zbyt mały nawiew powietrza

Następnie prowadzi się analizę skutków wad (krok 5 wdrażania RCM). W tym celu zastosowano metodę FMEA (tabela 2).

Tabela 2. Analiza skutków wad kotła [1]

Część	Wada	Skutek lokalny	Skutek dla operacji	Skutek dla procesu
1	2	3	4	5
Zawór zwrotny	nie otwiera się	mały skutek	mały skutek	brak
	nie zamyka się	mały skutek	mały skutek	brak
	złamany	mały skutek	mały skutek	brak
Zbiornik spalania	nieprawidłowa sekwencja spalania	wyłączenie kotła	wyłączenie systemu parowego	przerwanie produkcji
	za dużo spalonego paliwa	wyłączenie kotła	wyłączenie systemu parowego	przerwanie produkcji
	za duży dostęp powietrza	Mała wydajność kotła	wyłączenie systemu parowego	spowolnienie produkcji
	uszkodzony czujnik płomienia	wyłączenie kotła	wyłączenie systemu parowego	przerwanie produkcji
	mały przepływ powietrza	wyłączenie kotła	wyłączenie systemu parowego	spowolnienie produkcji
	błędna transmisja gazów spalinowych	wyłączenie kotła	wyłączenie systemu parowego	spowolnienie produkcji

tabela 2 cd.

1	2	3	4	5
Wymuszona praca wentylatora	zakłócenia/hałas w silniku	wyłączenie kotła	wyłączenie systemu parowego	spowolnienie produkcji
Filtr powietrza	zanieczyszczenie powierzchni	mały efekt dla kotła	mały skutek	brak
Piec	dziura w rurze/tubie	zmniejszenie wydajności kotła	mała wydajność	mały skutek
Układ paliwowy	uszkodzenie zaworu zwalniającego	wyłączenie kotła	wyłączenie systemu parowego	przerwanie produkcji
	uszkodzenie zaworu odcinającego	wyłączenie kotła	wyłączenie systemu parowego	przerwanie produkcji
Rurociąg	korozja	wyłączenie kotła	wyłączenie systemu parowego	mała produktywność
Zawór bezpieczeństwa	skażenie wody	wyłączenie kotła	mała wydajność	mała produktywność
Źródło wody	wyłączenie pompy	wyłączenie kotła	wyłączenie systemu parowego	przerwanie produkcji
Zmiękcacz wody	brak zmiękczenia	mała wydajność kotła	spowolnienie działania	brak
	za duże zmiękczenie	mała wydajność kotła	spowolnienie działania	brak

Przyjęto następujące wagi grup skutków dotyczących:

- bezpieczeństwa – 40%,
- produkcji – 40%,
- kosztów – 20%.

Następnie obliczono poziom krytyczności danej wady według wzoru (1) [1]:

$$PK = 0,4 \times S + 0,4 \times P + 0,2 \times C \quad (1)$$

gdzie:

PK – poziom krytyczności wady,

S – skutki dla bezpieczeństwa,

P – skutki dla produkcji,

C – skutki dla kosztów.

Na podstawie tabeli 3 określono grupę poziomu krytyczności każdej wady.

Poziom krytyczności A oznacza, że wada ma duży wpływ na operacje i proces, poziom D oznacza, że wpływ wady na operację i proces jest niewielki. W przypadku wad z grup A i B planuje się wprowadzenie działań zapobiegawczych lub korygujących. Następnie oceniono wpływ wad na bezpieczeństwo, produkcję i koszty w skali 3-stopniowej. Obliczono także poziom krytyczności wad i określono ich grupę (tabela 4).

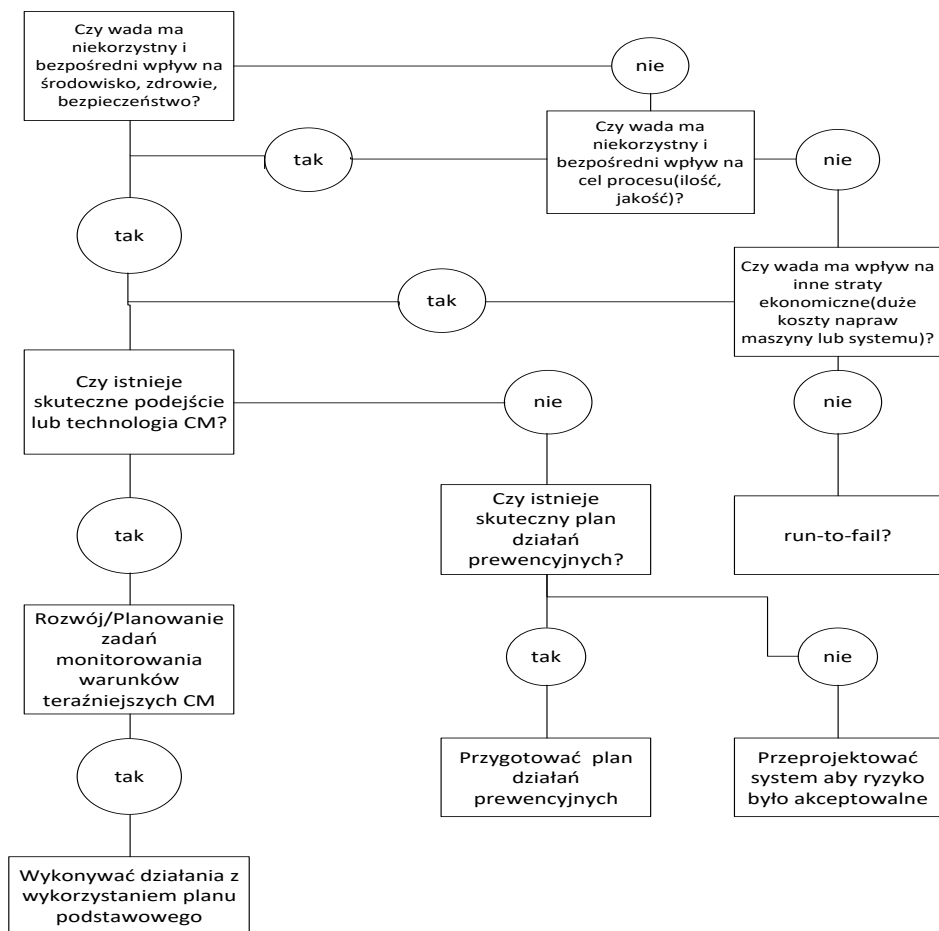
Tabela 3. Grupy poziomu krytyczności [1]

Grupa	Przedział wartości
A	3÷2,5
B	2,5÷2
C	2÷1,5
D	1,5÷1

Tabela 4. Analiza krytyczności wad kotła [1]

Urządzenie	Wada	Przyczyna	Analiza krytyczności			Poziom krytyczności	Grupa
			bezpieczeństwo	produkcja	koszty		
Kocioł	nadmierne wydalenie gorącej pary	za duży dostęp powietrza	2	1	3	1,4	D
		nieprawidłowa sekwencja spalania	3	2	1	2,2	B
		za duża ilość spalonego paliwa	3	3	3	3	A
		zanieczyszczanie komina	2	2	3	2,2	B
		zanieczyszczanie podgrzewacza	3	3	3	3	A
	powolny spadek ciśnienia	za gorąca woda	1	3	1	1,8	C
	wysoka temperatura gazów spalinowych w kominie	za duży dostęp powietrza	2	1	3	1,8	C
		zanieczyszczanie komina	3	2	3	2,6	A
	dostanie się gazów spalinowych do zbiornika z ogniem	przeciek sadzy do obudowy dmuchawy	3	3	3	3	A
		przeciek z przewodu odpływowego do podgrzewacza	3	3	3	3	A

Narzędziem pomocnym na tym etapie wdrażania RCM (krok 6) jest diagram drzewa logicznego [15]. Proste drzewo logiczne przedstawiono na rys. 7. Dzięki jego zastosowaniu można sprawdzić, jakie błędy organizacyjne popełniono, które z działań wykonywanych przez dział utrzymania ruchu są skuteczne i należy je rozwijać, a które zawiodły i należy je zmienić oraz przeprojektować. Drzewo logiczne stosuje się w odniesieniu do każdej wady. Na podstawie analizy wyników (LTA) można dobrać odpowiednie działania korygujące i zapobiegawcze.



Rys. 7. Diagram drzewa logicznego dla RCM [1]

Postępowanie zgodnie z sześcioma pierwszymi krokami wdrażania koncepcji RCM prowadzi do uzyskania prostych, precyzyjnych i zrozumiałych kryteriów, na podstawie których podejmuje się decyzje, czy w przypadku danej operacji wymagane jest wprowadzenie działań prewencyjnych (korygujących lub zapobiegawczych), a jeżeli tak, to jakie to mają być działania, z jaką częstotliwością powinny być prowadzone oraz kto ma być za nie odpowiedzialny. Na podstawie charakterystyki technicznej działania i uszkodzenia, któremu dane działanie ma zapobiegać, ocenia się, czy dane działanie jest możliwe do wykonania.

Opłacalność planowanych działań weryfikuje się na podstawie oceny stopnia ograniczenia skutków uszkodzenia. Jeżeli nie można zaplanować dla danego uszkodzenia środków prewencyjnych, korzysta się z innych elementów RCM.

Zadania opracowane dla omawianego przykładu przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Działania usprawniające (oprac. własne na podst. [1])

Urządzenie	Wada	Przyczyna	Grupa	Działania	Opis	Częstotliwość
Kocioł	nadmierne uwalnianie gorącej pary	za duży dostęp powietrza	D	RTF
		nieprawidłowa sekwencja spalania	B	CD TD FF	mierzenie średnicy otworów wewnątrz palnika wymiana węża paliwowego i uszczelek sprawdzanie pozycji odrzutnika oleju	M R T
		za duża ilość spalane go paliwa	A	CD	mierzenie średnicy otworów wewnątrz palnika	M
		zanieczyszczony komin	B	CD	czyszczenie komina	R
		zanieczyszczony podgrzewacz	A	CD	mierzenie temperatury gazów spalinowych w kominie	M

W ramach utrzymania ruchu podejmuje się następujące działania:

- reagowanie w przypadku uszkodzenia (*run to fail* – RTF),
- działania podejmowane na podstawie istniejącego stanu, bieżący monitoring (*condition directed maintenance* – CD),
- działania oparte na harmonogramach (*time directed maintenance* – TD),
- poszukiwanie uszkodzeń (*finding failure* – FF).

Nakłady pracy oraz częstotliwość planowanych działań usprawniających przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Nakłady siły roboczej (oprac. własne na post. [1])

PM okres	Częstotliwość	Czas trwania [h]	Liczba pracowników	Osobogodziny na PM okres
Tygodniowe	50	6,15	1	325
Miesięczne	10	5	2	100
Półroczne	2	21	4	168

Oszczędności kosztów pracy w wyniku wdrożenia RCM przedstawiono w tabeli 7. Porównując wydatki związane z kosztami pracy działu utrzymania ruchu przed wprowadzeniem i po wprowadzeniu RCM można zauważyć, że wdrożenie koncepcji RCM przyniesie oszczędności około 25,2% w skali roku.

Tabela 7. Oszczędności kosztów pracy (oprac. własne na post. [1])

Pozycja	Typ prac	Liczba pracowników na dzień (aktualnie)	Liczba pracowników na dzień (propozycja)
Inżynierowie (1000 \$/miesiąc)	mechaniczny	5	4
	elektryczny	5	4
	kontrolny	5	4
Technicy (800 \$/miesiąc)	mechaniczny	6	4
	elektryczny	6	4
Łączne koszty (\$/rok)		295 200	220 800
Oszczędności = 25,2%			

Tabela 8. Propozycja programu zakupu części zamiennych (rocznie)
(oprac. własne na podst. [1])

Urządzenie	Część	Liczba (aktualnie)	Koszt [\$/rok] (aktualnie)	Liczba (propozycja)	Koszt [\$/rok] (propozycja)
Pompa wodna	sprzęgło	2	3000	1	1500
	uszczelka mechaniczna	6	12 000	4	8000
	łożysko silnika	6	24 000	4	16 000
	łożysko pompy	6	12 000	4	8000
Kocioł	uszczelka	12	12 000	10	10 000
	fuel house	2	40 000	2	40 000
	łożysko wentylatora	4	12 000	2	6000
Koszty łączne [\$/rok]			115 000		89 500
Oszczędności = 22,17%					

W tabeli 8 przedstawiono proponowany roczny program zakupów części zamiennych. Na podstawie analizy tabeli można wyciągnąć wniosek, że program zakupu części zamiennych pisany z wykorzystaniem RCM przynosi ponad 20% oszczędności w skali roku w porównaniu z bieżącym podejściem do utrzymania ruchu.

5. PODSUMOWANIE

Kroki podejmowane w ramach analizy FMEA w dużej mierze pokrywają się z krokami podejścia RCM, dlatego FMEA jest narzędziem usprawniającym wdrażanie RCM. Dzięki materiałom zgromadzonym w wyniku analizy FMEA łatwiej jest zaplanować działania minimalizujące prawdopodobieństwo powstawania wad/uszkodzeń lub w możliwie dużym stopniu ograniczające ich negatywne skutki. Planowanie i podejmowanie takich działań jest najważniejszym działaniem

w koncepcji RCM. Wykorzystywanie w utrzymaniu ruchu proaktywnych działań prewencyjnych prowadzi do zwiększenia efektywności produkcji, a więc zmniejszenia kosztów i wzrostu zysku dla przedsiębiorstwa.

LITERATURA

- [1] Afefy I.H., Reliability Centered Maintenance Methodology and Application: A Case Study, *Engineering*, 2010, No. 2, s. 863–873.
- [2] Breiing A.J., Critical consideration and improvement of the FMEA, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Switzerland 2002.
- [3] Carretero J., Cotaina N., Chabrol J., Djeapragache D., García F., Matos F., Peña J.M., Prete P., Pérez M., Pérez J.M., Study of existing Reliability Centered Maintenance (Rcm) approaches used in different industries, Universidad Politécnica de Madrid TR 2000, No. FIM/110.1/DATSI/00.
- [4] Chenga Z., Gaoa P., Wang J., Wua S., A framework for intelligent reliability centered maintenance analysis, *Science Direct*, 2007.
- [5] Dong C., Failure mode and effects analysis based on fuzzy utility cost estimation, *International Journal of Quality & Reliability Management*, 2007, Vol. 24, No. 9, s. 958–71.
- [6] Franceschini F., Galetto M., A new approach for evaluation of risk priorities offailure modes in FMEA, *International Journal of Production Research*, 2001, Vol. 39, No. 13, s. 2991–3002.
- [7] Gołaś H., Mazur A., Wdrażanie systemu zarządzania jakością, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2011.
- [8] Hamrol A., Mantura W., Zarządzanie jakością teoria i praktyka, PWN, Poznań 1990.
- [9] Hassan A., Siadat A., Dantan J., Patrick M., Conceptual process planning – an improvement approach using QFD, FMEA, and ABC methods, *Robotics and Computer – Integrated Manufacturing* 2009.
- [10] Jasiulewicz-Kaczmarek M., Drożyner P., The Role of Maintenance in Reducing the Negative Impact of a Business on the Environment, w: M.G. Erechtkoukova i in. (red.), *Sustainability Appraisal: Quantitative Methods and Mathematical Techniques for Environmental Performance Evaluation*, EcoProduction, Springer-Verlag, Berlin–Heidelberg 2013, s. 141–166.
- [11] Jasiulewicz-Kaczmarek M., Zasada „podejścia procesowego” w utrzymaniu ruchu, *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, seria Organizacja i Zarządzanie*, 2007, No. 48, s. 260–263.
- [12] Jasiulewicz-Kaczmarek M., Współczesne koncepcje utrzymania ruchu infrastruktury technologicznej przedsiębiorstwa, w: M. Fertsch, S. Trzcieliński (red.), *Koncepcje zarządzania systemami wytwórczymi*, Instytut Inżynierii Zarządzania, Politechnika Poznańska, Poznań 2005, s. 127–134.
- [13] Jasiulewicz-Kaczmarek M., Macroergonomics design for improves quality performance in maintenance, *Foundations of Control and Management Science*, 2008, No. 11, s. 171–181.

- [14] Kozyra M., Leśniewska M., Misztal A., Sterowanie jakością procesu obróbki ślusarskiej – studium przypadku, *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, seria Organizacja i Zarządzanie* 2012, nr 58, s. 43–52.
- [15] Misztal A., Connecting and applying the FTA and FMEA methods together, w: *Some problems and methods of ergonomics and quality management*, red. A. Borucki, L. Pacholski, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2010, s. 153–163.,
- [16] Moubray J., *Reliability-centred Maintenance*, Butterworth–Heinemann, Oxford 1991.
- [17] Rhee S., Ishii K., Using cost based FMEA to enhance reliability and serviceability. *Advanced Engineering Information* 2003, 17, s. 179–188.
- [18] Sankar N.R., Prabhu B.S., Modified approach for prioritization of failures in a system-failure mode and effects analysis, *International Journal of Quality & Reliability Management*, 2001, Vol. 18, No. 3, s. 324–335.
- [19] Seyed-Hosseini S.M., Safaei N., Asgharpour M.J., Reprioritization of failures in a system failure mode and effects analysis by decision-making trial and evaluation laboratory technique, *Journal of Reliability Engineering and System Safety*, 2006, Vol. 91, No. 8, s. 872–881.
- [20] Teoh P.C., Case K., Failure modes and effects analysis through knowledge modelling, *Journal of Materials Processing Technology*, 2004, Vol. 153–154, s. 253–260.
- [21] Tuncel G., Alpan G., Risk assessment and management for supply chain networks: A case study, *Computers in Industry*, 2010, s. 250–259.
- [22] Werbińska-Wojciechowska S., *Narzędzia i metody analizy uszkodzeń obiektu technicznego. Przyczyny i rodzaje uszkodzeń*, wykład, Politechnika Wroclawska, Wrocław 2013.

APPLICATION OF FMEA ANALYSIS IN THE CONTEMPORARY CONCEPT OF MAINTENANCE – RCM

S u m m a r y

The purpose of this article is to alert the reader to the possibility of using Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) in the implementation and operation of one of the contemporary concepts that is Reliability Centered Maintenance. The article discusses the scope of activities of Maintenance, briefly presents the evolution of the concept of Maintenance and role of FMEA as a tool to support the concept of RCM.