

KONCEPCJA ZASTOSOWANIA METODY FMEA DO WSPOMAGANIA DZIAŁAŃ PREWENCYJNYCH I PROAKTYWNYCH W UTRZYMANIU RUCHU

Mariusz PIECHOWSKI, Małgorzata JASIULEWICZ-KACZMAREK,
Ryszard WYCZÓŁKOWSKI

Streszczenie: Artykuł porusza problematykę planowania i harmonogramowania działań obsługowych w utrzymaniu ruchu. Właściwe planowanie działań prewencyjnej i proaktywnych ma kluczowe znaczenie w wielu branżach, takich jak: przemysł petrochemiczny, motoryzacyjny czy spożywczy. Kluczowym elementem planowania działań obsługowych jest zdefiniowanie zakresu działań i określenie ich częstotliwości w celu osiągnięcia zaplanowanego poziomu dostępności systemu eksploatacyjnego przy minimalnym koszcie całkowitym. Jednym ze sposobów redukcji ilości i czasów przestoju jest analiza zdarzeń obsługowych pod kątem przyczyn i możliwych działań zapobiegawczych, a powszechnie stosowanym w tym celu narzędziem jest analiza FMEA. Intencją autorów jest wykorzystanie metody FMEA do analizy awarii, a następnie do wspomaganie procesu planowania i harmonogramowania działań prewencyjnych i proaktywnych, tak by zgodnie z koncepcją zrównoważonego rozwoju awaria była oceniana wielokryterialnie, nie tylko pod kątem produkcji, ale również z uwzględnieniem bezpieczeństwa i zagrożeń w stosunku do środowiska. W artykule zaproponowano zmiany i modyfikacje metody FMEA, ułatwiające jej wykorzystanie w działach utrzymania ruchu. Zaproponowana metoda w połączeniu ze wspomaganie informatycznym stanowić będzie podstawę koncepcji oszacowania ryzyka wystąpienia awarii oraz ustalenia związków przyczynowo - skutkowych w celu zapobiegania nieplanowanym przestojom i minimalizowaniem ich skutków.

Słowa kluczowe: utrzymanie ruchu, działania prewencyjne i proaktywne, FMEA

1. Wstęp

Racjonalna eksploatacja maszyn i urządzeń, stanowi o odpowiedzialności i sukcesie w rozwoju społeczeństw w dobie cywilizacji przemysłowej. Jest ona ponad to etapem cyklu życia produktu, który inicjuje nowe rozwiązania, weryfikuje ich przydatność i wytycza kierunki dalszego rozwoju. Wraz z rozwojem przedsiębiorstw produkcyjnych nierozzerwalną ich częścią było ustawiczne dążenie do zapewnienia niezawodności infrastruktury i zapewnienie ciągłości produkcji. Nowe koncepcje zarządzania produkcją (Lean Manufacturing, Green Manufacturing, Sustainable Manufacturing) wymuszają nowe spojrzenie na zagadnienia eksploatacji maszyn. Właściwe planowanie działań prewencyjnej i proaktywnych ma kluczowe znaczenie w wielu branżach, takich jak przemysł petrochemiczny, motoryzacyjny czy spożywczy. W przemyśle istnieje silna potrzeba zmniejszenia i wyeliminowania kosztownych, nieplanowanych przestoju oraz nieoczekiwanych awarii. Kluczowym elementem planowania działań obsługowych jest zdefiniowanie ich zakresów oraz wyznaczenie ram czasowych (harmonogramów) tych

działań w celu osiągnięcia zaplanowanego poziomu dostępności systemu eksploatacyjnego przy minimalnym koszcie całkowitym. Wzrost złożoności systemów eksploatacyjnych i automatyzacja procesów produkcyjnych spowodowała podniesienie wymagań w odniesieniu do służb utrzymania ruchu (SUR) takich jak zakres prowadzonych działań czy wiedzy technicznej, a ograniczone zasoby personalne i finansowe utrudniają prawidłowe ich realizowanie.

Obserwacja i analiza ewolucyjnych zmiany w obszarze utrzymania ruchu (UR) na przestrzeni kilkudziesięciu ostatnich lat pozwala wyróżnić trzy zasadnicze okresy [1], które ewoluowały i rozwijały się przechodząc jeden w drugi: okres reaktywnego utrzymania ruchu, okres prewencyjnego utrzymania ruchu, okres prognostycznego i proaktywnego utrzymania ruchu. Każdy z nich był sam w sobie innowacyjny w swoim okresie i jednocześnie niewystarczający w zderzeniu z nowymi wyzwaniami. Każda z tych koncepcji wymagała większego wysiłku organizacyjnego do osiągnięcia podobnego poziomu efektywności finansowej, która jest najważniejszym i najbardziej miarodajnym kryterium oceny, który wynika z głównego celu istnienia przedsiębiorstwa.

2. Zadania utrzymania ruchu

Wraz z rozwojem przedsiębiorstw produkcyjnych nierozzerwalną ich częścią było ustawiczne dążenie do zapewnienia niezawodności infrastruktury i zapewnienie nieprzerwanej ciągłości produkcji. Wraz z dominacją produkcji masowej i wielkoseryjnej to dążenie nabrało nowego znaczenia i stało się jednym z dominujących zagadnień w organizacji i funkcjonowaniu przedsiębiorstw, w których wysoka efektywność parku maszynowego dawała przewagę nad konkurencją. Działy utrzymania ruchu przechodziły wielokrotnie reorganizację, aby przystosować się do ciągle zmieniających się zasad zarządzania i funkcjonowania przedsiębiorstw, co wielokrotnie prowadziło do rozszerzania obszarów objętych obsługą eksploatacyjną. Dzisiaj najważniejsze cele realizowane przez służby utrzymania ruchu (SUR) to:

1. Zapewnienie ciągłości produkcji w ramach przyjętej strategii utrzymania ruchu, a w przypadku jej przerwania możliwie jak najszybsze jej przywrócenie.
2. Zapewnienie bezpieczeństwa i ergonomii pracy.
3. Eksploatacja maszyn i urządzeń z uwzględnieniem zrównoważonego rozwoju, w tym ograniczanie wpływu na środowisko (racjonalne gospodarowanie mediami, odpowiednia gospodarka odpadami).
4. Optymalne użytkowanie środków technicznych poprzez stworzenie warunków do ekonomicznej opłacalności procesów produkcyjnych (wydłużanie okresu eksploatacyjnego i podnoszenie sprawności parku maszynowego).
5. Zapewnienie odpowiedniego poziomu jakości procesów technologicznych (rozbudowa i unowocześnienie parku maszynowego, wdrażanie nowych technologii i innowacyjnych rozwiązań konstrukcyjno-technologicznych).
6. Zmniejszenie ilościowe i czasowe awarii poprzez odpowiednie działania prewencyjne i proaktywne z wykorzystaniem nowych technik diagnostycznych, monitoringu czy też e-maintenance).
7. Zapewnienie racjonalnej gospodarki częściami zamiennymi.
8. Nadzór nad zakupami i wdrożeniami nowych maszyn i urządzeń.

Niemniej ważne są także pomocnicze zadania realizowane przez SUR:

1. Prowadzenie rejestru wyposażenia produkcyjnego i eksploatacyjnego.
2. Dokumentowanie i harmonogramowanie zadań obsługowych.
3. Analizowanie, raportowanie i ocena wyników działań.
5. Wprowadzanie działań doskonalących (także dla pracowników innych działów).
6. Planowaniem i budżetowaniem zasobów.

Głównym celem służb utrzymania ruchu (SUR) jest zapewnienie płynnej i ciągłej realizacji zleceń produkcyjnych, a największym wyzwaniem (ze względu na ograniczenia finansowe i organizacyjne) jest zapobieganie awariom. Efektywne gospodarowanie dostępnymi zasobami finansowo-organizacyjnymi wymaga skutecznych narzędzi umożliwiających optymalne wyznaczanie i efektywne realizowanie działań obsługowych. Osiągnięcie tych celów jest jednak obwarowane pewnymi warunkami:

1. Odpowiedni poziom kultury pracy w przedsiębiorstwie oraz zasad pracy zespołowej. Bez świadomości pracowników (zwłaszcza działów utrzymania ruchu, produkcji, logistyki) i ich zaangażowania (motywacji i odpowiedzialności) wprowadzanie zmian w tak szerokim zakresie jest prawie że niemożliwe. Skuteczne wdrożenie koncepcji Lean Manufacturing jest właściwym krokiem do osiągnięcia tego celu.
2. Posiadanie kompletnej wiedzy o działaniach obsługowych. Z warunkiem tym jest związane właściwe i systematyczne gromadzenie danych (dokumentacja konstrukcyjna i eksploatacyjna, historia działań obsługowych), tak aby możliwy łatwy i szybki dostęp do informacji. Jednocześnie gromadzone dane powinny być właściwie przetwarzane i katalogowane w celu pozyskania odpowiedniej formy informacji.
3. Właściwy przepływ danych we wszystkich obszarach i na wszystkich poziomach działania: przygotowania produkcji, procesie wytwarzania, logistyki, zapewniania jakości oraz innych obszarach okołoprodukcyjnych. Spełnienie tego warunku jest konieczne do minimalizacji czasów i maksymalizacji efektywności zadań związanych z utrzymaniem ciągłości produkcji oraz przyjętych działań prewencyjnych i predykcyjnych.

3. Opis problemów w planowaniu działań prewencyjnych

Utrzymanie ruchu boryka się z szeregiem ograniczeń i barier, które obniżają efektywność i skuteczność działań obsługowych. Do przykładowych barier należą:

1. Duża ilość urządzeń i maszyn, w których występują różnego rodzaju zespoły, podzespoły, napędy, sterowania.
2. Dążenie przedsiębiorstw do automatyzacji procesów produkcyjnych, co wymusza podnoszenie umiejętności SUR poprzez ciągłe szkolenia.
3. Różnorodność stosowanych w mechanizmów i podzespołów, wymagających wiedzy i doświadczenia między innymi z dziedziny elektroniki, hydrauliki, pneumatyki, mechaniki.
4. Ograniczenia techniczne, fizyczne, systemowe, prawne, ekonomiczno-finansowe.

Ograniczenia te wymuszają ciągłego poszukiwania metod i narzędzi umożliwiających skuteczne pozyskiwanie wiarygodnych informacji (wytycznych, danych, wskaźników) i dalsze ich przetwarzanie w celu m.in. tworzenia i harmonogramowania działań prewencyjnych i predykcyjnych.

Na tym etapie działania pojawiają się specyficzne problemy:

1. Jeżeli na podstawie historii zdarzeń możemy określić jakie maszyny należy poddać działaniom zapobiegawczo-prewencyjnym to występuje problem przy określeniu optymalnych (np. ekonomicznie uzasadnionych) przedziałów czasowych w jakich te działania należy przeprowadzić.
2. Podobnie jest z wykorzystaniem informacji zawartych w dokumentacji DTR (dokumentacja techniczno-ruchowa), wiadomo w odniesieniu do jakich zespołów podejmować działania prewencyjne i w jakim przedziale czasowym wykonywać te działania, jednak pojawiają się problemy z weryfikacją tych ustaleń np. w miarę zużywania się elementów maszyn czy zmianą dostawców części zamiennych.
3. Jeżeli natomiast przeprowadzamy analizę ryzyka (np. FTA, FMECA) to udaje się określić obszary, w których należy podjąć działania korygujące, ale nie zawsze wiemy z jaką częstotliwością je przeprowadzać, aby zapobiec wystąpieniu awarii.

4. Wykorzystanie analizy FMEA do analizy awarii.

Jednym z najczęściej stosowanych narzędzi wspomagających obsługę techniczną jest analiza FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*). FMEA jest popularnym narzędziem (szczególnie w branży lotniczej i motoryzacyjnej) do analizy przyczyn powstawania i skutków wad występujących w produkcji, jego podzespołach czy też elementach. Metoda ta znalazła także swoje zastosowanie tam, gdzie ważne jest ustalenie związków przyczynowo – skutkowych, czyli wszędzie gdzie występuje konieczność konsekwentnego i systematycznego eliminowania wad, usterek czy innych zagrożeń oraz skutecznego minimalizowania ryzyka z tym związanego. Według tego założenia wyposażenie eksploatacyjne (maszynę, urządzenie, linię produkcyjną) możemy potraktować jak każdy inny produkt w całym cyklu jego życia: od projektu, poprzez eksploatację, aż po złomowanie.

W odniesieniu do systemów technicznych dzięki zastosowaniu metody FMEA można [8]:

1. Identyfikować oraz konsekwentnie i trwale eliminować przyczyny awarii poprzez rozpoznanie rzeczywistych przyczyn ich powstania oraz wdrażanie odpowiednich działań zapobiegawczych i korekcyjnych.
2. Udokumentować proces eksploatacji maszyn i urządzeń oraz zastosować zgromadzoną wiedzę do zaplanowania sposobu monitorowania i diagnozowania środków technicznych.
3. Analizować proces eksploatacji maszyn i urządzeń, a następnie na podstawie uzyskanych wyników, wprowadzić działania umożliwiające podniesienie sprawności i trwałości oraz modernizację parku maszynowego.
4. Zbudować bazę danych, w której będą znajdowały się wszystkie dotychczasowe informacje o:
 - a) przyczynach awarii i sposobach ich usuwania,
 - b) podjętych działaniach korygujących i zapobiegawczych oraz ich skuteczności,
 - c) skutkach awarii (przestojów, usterek) w odniesieniu do produkcji, jakości, bezpieczeństwa czy środowiska,
 - d) poziomie wykorzystania części zamiennych i ich trwałości,
 - e) szacowanych kosztach i czasach przestojów,
5. Wykorzystać zebrane informacje, dane czy analizy w powiązaniu z dokumentacją techniczno-ruchową (DTR) do opracowania optymalnego harmonogramu przeglądów, działań prewencyjnych lub zadań proaktywnych.

Wszystkie działania kontrolne i zapobiegawcze należy właściwie zaplanować tak, aby nie stały się zbyt dużym obciążeniem dla działów obsługi technicznej. Nie tylko awarie, ale także przyczyny obniżenia wydajności lub jakości wyrobów są zdarzeniami, którym należy zapobiegać. Metoda FMEA może dostarczyć tych informacji tak, aby zaplanowane i podejmowane działania eksploatacyjne przyniosły jak największe korzyści finansowe i organizacyjne we wszystkich obszarach działań służb utrzymania ruchu. Jej przewaga nad innymi stosowanymi metodami polega na tym, iż umożliwia wykonanie analizy:

1. W obszarze planowania, rozwoju, produkcji, kontroli jakości, wysyłki, instalacji, eksploatacji i konserwacji w odniesieniu do produkcji, bezpieczeństwa i środowiska [6].
2. W podejściu problemowym (w przypadku wystąpienia awarii) i systemowym (analiza poszczególnych elementów składowych wyposażenia technicznego) [7].
3. Zdarzeń przeszłych jak i przyszłych oraz ponowną analizę (aktualizację działań) podczas zmieniających się uwarunkowań: procesowych, technicznych, organizacyjnych, prawnych czy ekonomicznych.

Podobnie jak inne narzędzia i metody ma szereg zalet oraz wad. Wady FMEA wynikają przede wszystkim z dużej liczby elementów poddawanych analizie oraz ograniczonych zasobów ludzkich, finansowych i czasowych. Jest to bowiem metoda:

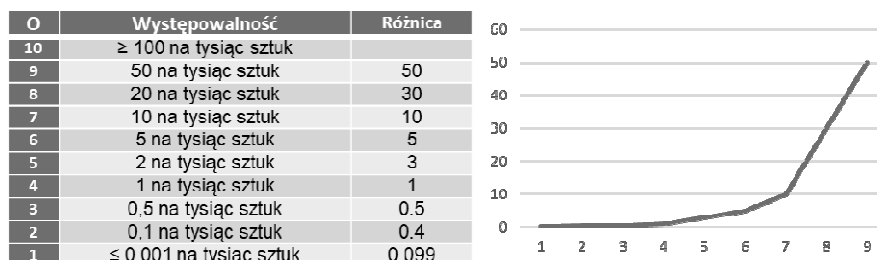
1. Czasochłonna (ze względu zakres analizy).
2. Pracochłonna, wymagająca od zespołu: zaangażowania, systematyczności, wiedzy i doświadczenia.

Powyższe wady mogą być przyczyną problemów organizacyjnych w jej stosowaniu. Można również wskazać wady merytoryczne metody związane między innymi z [9, 10]:

1. Ustaleniem modelu rankingowego ocen: skutku (*severity* S), występowania (*occurrence* O), wykrywania (*detection* D) – wyznaczenie właściwej tabeli rankingowej ma istotny wpływ na wyznaczenie poziomu ryzyka.
2. Ustaleniem priorytetów przy podejmowaniu decyzji – wyznaczenie punktów granicznych wskaźnika RPN jest bardzo trudne ze względu na wykładniczy charakter skali. Przykład skali dla występowalności przedstawiono na rysunku 1.
3. Wymiarem oceny ryzyka – dla $RPN = S * O * D$. Czym wyższe wartości skali rankingowej tym większe różnice w wartościach wskaźnika RPN. Przykład przedstawiono na rysunku 2.
4. Subiektywnym charakterem systemu rankingowego - brak powtarzalności i odtwarzalności ocen, co prowadzi do różnych wartości wskaźnika RPN przy ocenie podobnych zdarzeń i skutkuje radykalnie różnym, nie zawsze uzasadnionym, zakresem zalecanych działań korygujących (rys. 3.).
5. Brakiem wiarygodnego modelu matematycznego opisującego wskaźnik RPN np.: brak możliwości posługiwania się całą skalą 1-1000. Np. wartości RPN nigdy nie będą wynosić: 11, 22. Podobne wątpliwości wzbudzają: rozkład wartości $RPN = 166$, mediana = 105, średnia = 500.5, gdzie działania korygujące podejmuje się już od $RPN = 60$ dla $S = 9$ lub 10. Przy tak zbudowanej skali i przyjętym progu decyzyjnym niemal zawsze występuje konieczność działań korygujących. Jest to niewątpliwie podejście bardzo bezpieczne, ale budzące wątpliwości, czy zawsze uzasadnione.
6. Nieskuteczność w ocenie drobnych różnic rankingowych – większość zespołów zawyża ocenę w przypadku pojawiających się wątpliwości przy wyborze wartości ze skali rankingowej np.: jeżeli wybór dotyczy wartości 6 lub 7 to w większości przypadków zostanie wybrana wartość 7, zmniejszająca ryzyko błędu. Jednocześnie

taka z pozoru mała zmiana wartości oceny często powoduje poważne różnice w skali zalecanych działań. Znowu mamy do czynienia z podejściem bezpieczniejszym, ale niekoniecznie racjonalnie uzasadnionym.

7. Brak możliwości wykorzystania miar oceny kosztowej i/lub czasowej, które są istotne z punktu widzenia podejmowanych działań korygujących.



Rys 1. Przykładowa skala rankingowa dla występowalności (O) o wykładniczym charakterze

a)	S	O	D	RPN	b)	S	O	D	RPN
	2	2	3	12		7	7	3	147
	2	2	4	16		7	7	4	196
	Różnica			4		Różnica			49

Rys 2. Różnica poziomu wskaźnika ryzyka RPN przy różnych wartości skali rankingowej (SOD)

a)	S	O	D	RPN	b)	S	O	D	RPN
	2	10	10	200		10	2	2	40
	10	10	2	200		3	10	2	60
	10	2	10	200		2	5	10	100

Rys 3. Wartość wskaźnika RPN dla różnych wartości skali rankingowej (SOD)

Przedstawione powyżej wady FMEA mogą zmniejszać użyteczność tej metody, szczególnie w zakresie powtarzalności i odtwarzalności wyników, zwłaszcza w odniesieniu do najczęściej stosowanej skali rankingowej (od 1 do 10) [12]. Przeprowadzenie oceny w tak szerokiej skali jest mocno subiektywne, co skutkuje brakiem powtarzalności i odtwarzalności (jak opisano powyżej) przy odwzorowaniu wartości skali dla różnych zespołów przeprowadzających analizę FMEA oraz do podobnych (zbliżonych) rodzajów zdarzeń obsługowych.

Wyznaczenie poziomu ryzyka poprzez wartość wskaźnika RPN jest uzależnione od decyzji zespołu. Na różnice w ocenie wpływają dwa elementy [12]: uśrednienie skali (jako konsensus członków zespołu) lub wyboru wartości skali przez najsilniejszą osobowość w zespole. Za każdym razem prowadzi to do utraty precyzji w określaniu wartości ryzyka, gdzie im wyższe wartości skali rankingowej tym różnica w RPN jest wyższa.

Powyższe wady nie eliminują metody FMEA w procesie analizy działań obsługowych. Wskazują jednak na potrzebę poszukiwania takich rozwiązań i modyfikacji tego narzędzia, które umożliwiłyby jego skuteczne wykorzystanie w obszarze UR.

4. Proponowane dostosowanie metody FMEA do identyfikacji przyczyn i skutków awarii na potrzeby SUR

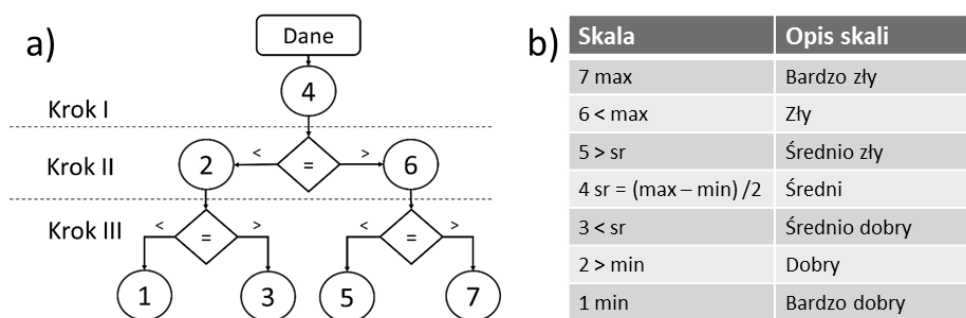
Intencją autorów jest wykorzystanie metody FMEA do opracowania metody:

- definiowania działań prewencyjnych i/lub proaktywnych na podstawie oszacowanego poziomu ryzyka wystąpienia awarii,
- wyznaczenia metod działań prewencyjnych na podstawie oszacowanych kosztów związanych ze skutkami awarii oraz czasem jej trwania,
- określenie zadań prewencyjnych związanych ze wszystkimi aspektami zrównoważonego rozwoju.

Metoda FMEA była już wielokrotnie modyfikowana i udoskonalana. Modyfikacje te były uzależnione od: dziedziny w jakiej ją wykorzystywano np.: analiza środowiska EFMEA (*environmental FMEA*), obszarów działalności przedsiębiorstwa np.: analiza systemu SFMEA (system FMEA) oraz realizowanej funkcji, jak to ma miejsce w FMECA (*Failure Mode and Criticality Analysis*).

Wzorując się na innych rozwiązaniach w tym obszarze (np. w metodzie FMECA, w której bardzo często wykorzystuje się skalę 1-5) i biorąc pod uwagę przedstawione powyżej wady skali 1-10, autorzy zaproponowali zmianę do zakresu 1-7. Zmiana skali do zakresu 1-7 umożliwia wprowadzenie „zasady trzech kroków”, która to zasada pozwala na odczyt wartości ze skali w sposób obciążony mniejszym błędem niż w przypadku „typowej” skali 1-10. Zostało to zobrazowane na rysunku 4a. Wybór skali 1-7 umożliwia także, bardziej precyzyjne zbudowanie skali rankingowej, gdyż pozwala na wyznaczenie i opisanie kluczowych wartości: minimum, środka i maksimum. Sposób projektowania skali został pokazany na rysunku 4b.

Kolejnym elementem, którego modyfikację autorzy zaproponowali jest definicja odpowiedników rankingowych: skutków, częstości występowania i wykrywalności (odpowiednio: *severity* (S), *occurance* (O), *detection* (D)). W odniesieniu do przyczyny awarii (zdarzenia obsługowego (ZO)), skutek w analizie FMEA nie odnosi się tylko do jednego aspektu np.: skutków dla produkcji, ale także jest związany z bezpieczeństwem i środowiskiem. Dlatego rozpatrywanie skutków ZO powinno odnosić się do wszystkich trzech aspektów zrównoważonego rozwoju. Na rysunku 5a, przedstawiono przykładową tabelę rankingową dla aspektu produkcyjnego.



Rys 4. Projekt skali rankingowej 1-7

a)	S	Produkcja
	7	Zatrzymanie produkcji
	6	Zatrzymanie procesu
	5	Zatrzymanie maszyny
	4	Zmiana jakości dużej części wyrobów
	3	Zmiana jakości wyrobów
	2	Wpływ na wydajność produkcji
	1	Brak wpływu

b)	D	Czas trwania
	7	Zagrożenie zerwania umowy
	6	Zagrożenie terminu dostawy
	5	Zmiana terminu
	4	Zmiana planu produkcji
	3	Przesunięcie planu produkcji
	2	Przesunięcie produkcji na inną maszynę
	1	Możliwe w czasie pracy maszyny

c)	D	Wykrywalność
	7	Brak możliwości wykrycia
	6	Monitoring lub diagnostyka
	5	Brak wykrycia przez technika
	4	Brak wykrycia przez operatora
	3	Wykrycie przez technika
	2	Wykrycie przez operatora
	1	Wykrywalność 100%

Rys 5. Tabele rankingowe

Zasadność zastosowania tabeli rankingowej w odniesieniu do skutków ZO nie powinna być poddawana w wątpliwość, gdyż następstwa przyczyn są istotnym elementem składowym analizy awarii. Taką wątpliwość (zdaniem autorów) w odniesieniu do wyliczenia wartości ryzyka wzbudza występowalność. Dla działów produkcyjnych informacja, który podzespół jest powodem awarii nie ma aż tak szczególnego znaczenia - istotny jest sam fakt zatrzymania produkcji lub jej ograniczenia. Jeżeli można mówić o częstotliwości ZO w odniesieniu do urządzenia (np.: poprzez obliczenie wskaźnika KPI (*Key Performance Indicators*) - MTBF (*Mean Time Between Failures*)), to w odniesieniu do konkretnego zespołu, który uległ awarii nie jest to już takie oczywiste, gdyż na jego niezawodność wpływa szereg innych uwarunkowań np.: zastosowane części zamienne od różnych dostawców. Dla działów produkcji wartość tego wskaźnika ma inne znaczenie niż dla działów utrzymania ruchu. Obliczenie wartości wskaźnika MTBF dla określonego podzespołu, umożliwiłoby precyzyjne określenie czasookresu, w którym należy przeprowadzić zadania prewencyjne. Z technicznego punktu widzenia, wiarygodne oszacowanie czasu pomiędzy awariami pojedynczego podzespołu jest bardzo trudne. Dla działów produkcyjnych także sam powód zatrzymania jest mniej istotny od czasu trwania ZO (opisywanego np. poprzez wskaźnik MTTR (*Mean Time To Repair*)), który istotnie wpływa na proces realizacji zleceń produkcyjnych. Dlatego bardziej miarodajnym wskaźnikiem od występowalności jest czas trwania (*Duration (DU)*). Czas trwania ma także istotny wpływ na każdy z aspektów: produkcja, bezpieczeństwo, środowisko. Każda tabela rankingowa skutków powinna mieć swój odpowiednik w tabeli dla czasu trwania (DU). Przykładową tabelę skali D przedstawiono na rysunku 5b.

Tabela rankingowa dla wykrywalności (DT) ma szczególne znaczenie w obszarze działań prewencyjnych, gdyż umożliwia określenie metod i narzędzi zabezpieczających przed nieplanowanym wystąpieniem ZO np.: diagnostyka, monitoring. Wartość tego wskaźnika wpływa na działania prewencyjne (np. autonomiczne) pod względem: organizacji, środków i zasobów utrzymania ruchu. Przykładową tabelę skali DT przedstawiono na rysunku 5c.

Ze względu na subiektywny charakter wskaźnika RPN (rys. 3) oraz (jak zostało opisane powyżej) małą precyzję tego wskaźnika, bardziej skutecznym narzędzie do wyznaczania poziomu ryzyka jest zastosowanie macierzy ryzyka (*Risk Matrix*). Macierz ryzyka umożliwia zdefiniowanie obszarów istotnych z punktu widzenia analizy FMEA np.:

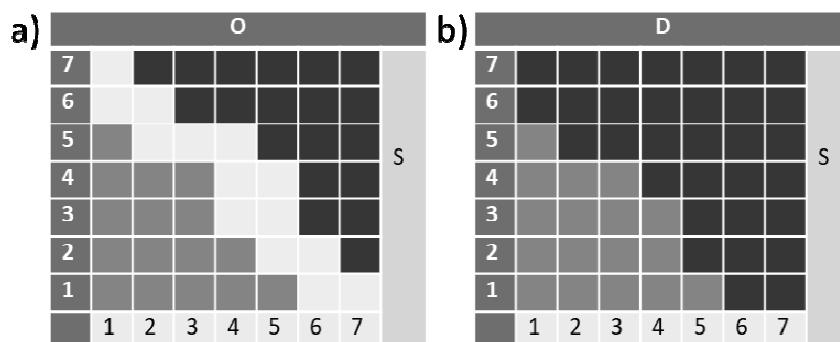
- kolor zielony – brak potrzeby podejmowania działań
- kolor żółty – podjęcie działań jest zalecane, ale nie konieczne
- kolor czerwony – należy podjąć działania zmniejszające ryzyko.

Ten sposób oceny ryzyka jest mniej precyzyjny niż RPN, natomiast ma mniej subiektywny charakter. Zmiana o jeden, czy dwa punkty na skali rankingowej nie ma takiego istotnego wpływu na decyzję jak w przypadku wyliczania wskaźnika RPN. Obszar niepewności oceny ryzyka w macierzy staje się istotny tylko na granicy tolerancji obszarów oceny,

dlatego linie tolerancji powinny być wyznaczone przez zespół ekspertów, co w pewien sposób zapobiega powstawaniu zarówno błędów I jak i II rodzaju.

Przykładowe macierze ryzyka zostały przedstawione na rysunku 6. Należy zwrócić uwagę, iż jest możliwe zaprojektowanie macierzy ryzyka ze skalą 2-stopniową jak i 3-stopniową.

Dla skali 3-stopniowej w obszarze pośrednim (oznaczony kolorem żółtym) to zespół podejmuje decyzję co do konieczności i ewentualnego zakresu działań.



Rys. 6. Przykładowe macierze ryzyka w skali 3 i 2 stopniowej

6. Podsumowanie

Istnieje wiele metod i narzędzi umożliwiających skuteczne zarządzanie utrzymaniem ruchu. Na przełomie kilkudziesięciu ostatnich lat podejścia w tym zakresie wymagało wielokrotnych zmian. Dobór odpowiedniej metody zarządzania utrzymaniem ruchu w odniesieniu do wykorzystywanej infrastruktury technicznej w przedsiębiorstwie jest podstawowym elementem, który wpływa na jej niezawodność i trwałość oraz na efektywność i skuteczność działań SUR.

W odniesieniu do systemów technicznych za pomocą metody FMEA można identyfikować oraz konsekwentnie i trwale eliminować przyczyny awarii poprzez podejmowanie optymalnych działań prewencyjnych i proaktywnych. Zaproponowane modyfikacje metody FMEA takie jak: zmiana skali rankingowej, zastąpienie wskaźnika RPN macierzą ryzyka, uwzględnienie skutków dla produkcji, bezpieczeństwa i środowiska powinno poszerzyć spojrzenie na zarządzanie działaniami prewencyjnymi.

Wykorzystanie przedstawionych powyżej zmian umożliwi wyznaczenie obszarów ryzyka obciążonego mniejszym błędem, na podstawie którego, można określić rzeczywiste działania korygujące i korekcyjne dla określonych: skutków zagrożeń, czasów ich trwania oraz możliwości ich wykrywania. Tym samym na jego podstawie można opracować bardziej efektywne działania prewencyjne i proaktywne, a stosując technikę zaczerpniętą z obszarów zarządzania jakością (tzn. stosując przeglądy i okresową weryfikację analiz poprzez: uwzględnienie nowych ZO, nowych urządzeń i maszyn, zmian konstrukcyjnych i technologicznych), umożliwimy doskonalenie działań we wszystkich obszarach i aspektach utrzymania ruchu.

Udział kosztów utrzymania ruchu, stanowi coraz większy udział procentowy w całości kosztów przedsiębiorstwa [1, 2]. Koszt ten jednak należy rozpatrywać jako stosunek uzyskanych korzyści do poniesionych nakładów. Wyznaczenie potencjalnego czasu trwania awarii, umożliwi oszacowanie możliwych skutków finansowych i ich zminimalizowanie

poprzez optymalne wdrożenie działań prewencyjnych i proaktywnych. Wykorzystanie zaproponowanej koncepcji umożliwia podniesienie skuteczności działań UR, a tym samym poprawienie stosunku korzyści do nakładów, ponieważ umożliwia wdrożenie działań zapobiegawczych jeszcze przed wystąpieniem ZO.

Literatura

1. Legutko S.: Trendy rozwoju utrzymania ruchu urządzeń i maszyn. *Niezawodność i eksploatacja*, nr 2, 2009
2. Jasiulewicz-Kaczmarek M., Współczesne koncepcje utrzymania ruchu infrastruktury technicznej przedsiębiorstwa [w:] *Koncepcje zarządzania systemami wytwórczymi*, red. M. Fertsch, S. Trzcieliński, Instytut Inżynierii Zarządzania, Politechnika Poznańska, Poznań 2005.
3. Walczak M.: System utrzymania ruchu czynnikiem przewagi konkurencyjnej przedsiębiorstwa. Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, s.411,
4. Antosz K., Stadnicka D.: Identyfikacja działań realizowanych w zarządzaniu infrastrukturą techniczną w dużych przedsiębiorstwach. dostępny na stronie internetowej: http://www.ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk_pdf_2012/p019.pdf [04.01.2016].
5. Kaźmierczak J.: *Eksploatacja systemów technicznych*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2000.
6. Ben-Daya M, Raouf A. A revisited failure mode and effects analysis model. *Int J Qual Reliab Manage* 1996;13(1).
7. Hamrol A. *Zarządzanie jakością z przykładami*. Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa 2007
8. Mikołajczyk J. Wykorzystanie analizy FMEA we współczesnej koncepcji utrzymania ruchu – RCM. *Zeszyty naukowe Politechniki Poznańskiej*, Nr 61, Poznań 2013.
9. Shebl, N.A., Franklin, B.D. and Barber, N. (2012), "Failure mode and effects analysis outputs: are they valid?", *BMC Health Services Research*, Vol. 12 No. 150.
10. Liu, H.C., Liu, L., Bian, Q.H., Lin, Q.L., Dong, N. and Xu, P.C. (2011), "Failure mode and effects analysis using fuzzy evidential reasoning approach and grey theory", *Expert Systems with Applications*, Vol. 38 No. 4,
11. Automotive Industry Action Group (AIAG) (2008), *Potential Failure Mode and Effects Analysis: FMEA*, 4th ed., AIAG, Southfield, MI.
12. Andersen, M.B. (2012), "Improvement of failure mode and effects analysis", master's thesis, available at: www.pure.au.dk/portal-asb-student/Master_Thesis_Maria_BechAndersen.pdf (accessed March 25, 2015).
13. Ahuja I.P.S., Khamba J.S., Total Productive Maintenance: Literature Review and Directions, „*International Journal of Quality & Reliability Management*” 2008, vol. 25, No 7.
14. Piersiala S., Trzcieliński S., *Systemy utrzymania ruchu [w:] Koncepcje zarządzania systemami wytwórczymi*, red. M. Fertsch, S. Trzcieliński, Instytut Inżynierii Zarządzania, Politechnika Poznańska, Poznań 2005.
15. Uhl T. *Współczesne trendy rozwojowe systemów monitorowania i diagnozowania maszyn*, PAK, no.4, 1999

Mgr inż. Mariusz PIECHOWSKI
ITM Software sp. z o.o.
60-652 Poznań, ul. Błękitna 1/7
tel./fax: (601) 735263
e-mail: mariusz.piechowski@itm-soft.pl

Dr inż. Małgorzata JASIULEWICZ-KACZMAREK,
Politechnika Poznańska,
Wydział Inżynierii Zarządzania, Katedra Ergonomii i Inżynierii Jakości
60-965 Poznań, ul. Strzelecka 11
tel./fax: (0-61) 665 33 65
e-mail: malgorzata.jasiulewicz-kaczmarek@put.poznan.pl

Dr hab. inż. Ryszard WYCZÓŁKOWSKI
Politechnika Śląska, Wydział Organizacji i Zarządzania, Instytut Inżynierii Produkcji
41-800 Zabrze, ul. Roosevelta 26
tel.: (0-32) 2777304
e-mail: ryszard.wyczolkowski@polsl.pl