



**Article citation info:**

Fellner, A., Mańka, A. Adjust the method of the FMEA to the requirements of the aviation industry. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2015, **89**, 19-25. ISSN: 0209-3324. DOI: 10.20858/sjsutst.2015.89.2.

**Andrzej FELLNER<sup>1</sup>, Adam MAŃKA<sup>2</sup>**

## **ADJUST THE METHOD OF THE FMEA TO THE REQUIREMENTS OF THE AVIATION INDUSTRY**

**Summary.** The article presents a summary of current methods used in aviation and rail transport. It also contains a proposal to adjust the method of the FMEA to the latest requirements of the airline industry. The authors suggested tables of indicators Zn, Pr and Dt necessary to implement FMEA method of risk analysis taking into account current achievements aerospace and rail safety. Also proposed acceptable limits of the RPN number which allows you to classify threats.

**Keywords:** risk analysis, FMEA method, acceptable limits of the RPN number, air transport, rail transport

## **DOSTOSOWANIE METODY FMEA DO WYMAGAŃ BRANŻY LOTNICZEJ**

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono zestawienie dotychczasowych metod stosowanych w transporcie lotniczym i szynowym. Zawarto również propozycję dostosowania metody FMEA do najnowszych wymagań branży lotniczej. Autorzy zaproponowali tabele wskaźników Zn, Pr i Dt niezbędnych do realizacji analizy ryzyka metodą FMEA, uwzględniając aktualne osiągnięcia branży lotniczej i szynowej w zakresie bezpieczeństwa. Zaproponowano również wartości

---

<sup>1</sup> Faculty of Transport, The Silesian University of Technology, Krasińskiego 13 Street, 40-019 Katowice, Poland. E-mail: [andrzej.fellner@polsl.pl](mailto:andrzej.fellner@polsl.pl).

<sup>2</sup> Faculty of Transport, The Silesian University of Technology, Krasińskiego 13 Street, 40-019 Katowice, Poland. E-mail: [adam.manka@polsl.pl](mailto:adam.manka@polsl.pl).

dopuszczalne liczby priorytetowej ryzyka – RPN, co umożliwia klasyfikację zagrożeń.

**Słowa kluczowe:** analiza ryzyka, metoda FMEA, RPN dopuszczalne, liczba priorytetowa ryzyka, transport lotniczy, transport szynowy

## 1. WSTĘP

Bazując na doświadczeniach branży transportowej, można stwierdzić, że główne cele działań podmiotów zaangażowanych w transport związane są z podnoszeniem jakości usług, zwiększaniem bezpieczeństwa i redukcją kosztów. Cele te, niestety, często wzajemnie się wykluczają, gdyż przykładowo chcąc podnieść jakość podróży i skrócić jej czas, zwiększa się prędkość przejazdu, co z kolei powoduje pojawianie się nowych zagrożeń i podnosi koszty eksploatacji środków transportu. Istnieją jednak metody pozwalające uzyskać jednocześnie wzrost bezpieczeństwa i redukcję kosztów w transporcie. Jednym z takich narzędzi jest analiza ryzyka realizowana metodą FMEA. Metoda ta opracowana na potrzeby wojska i stosowana następnie w branży samochodowej została dostosowana i wdrożona do powszechnego użytku w transporcie szynowym [3]. Bazując na wieloletnim doświadczeniu i dobrych praktykach realizacji tej metody, stwierdzono celowość jej wykorzystania również do branży lotniczej. Wprawdzie można stwierdzić, że branża lotnicza opracowała i wdrożyła narzędzia do zarządzania bezpieczeństwem i redukcją zagrożeń, jednak różnorodność stosowanych metod analizy ryzyka i brak jednolitego podejścia spowodował trudność w powszechnym wykorzystaniu tego narzędzia do identyfikacji zagrożeń zarówno technicznych, organizacyjnych, jak i biznesowych.

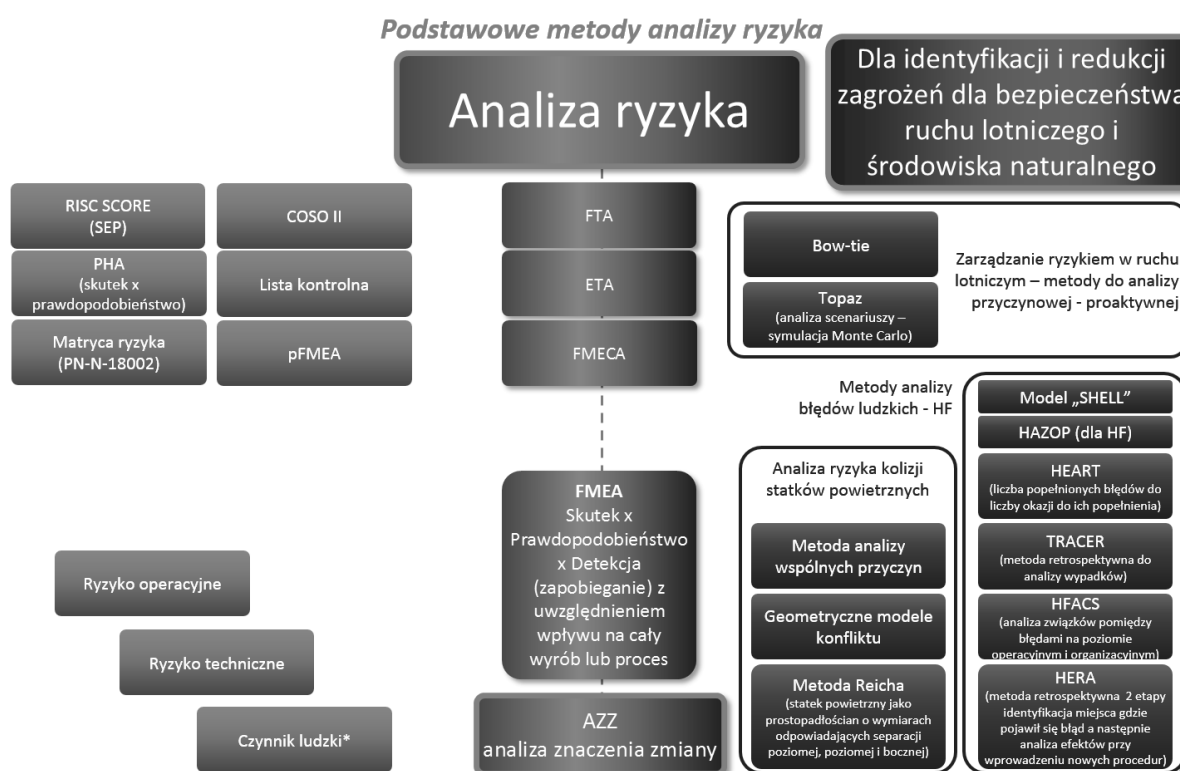
Powszechne stosowanie w firmie metody FMEA pozwala na identyfikację najbardziej istotnych zagrożeń i umożliwia wcześniejsze opracowanie środków zaradczych, tak aby wyeliminować dane zagrożenie lub przygotować przedsiębiorstwo w taki sposób, by złagodzić ewentualne skutki jego wystąpienia, redukując w ten sposób koszty ewentualnych następstw. Oszczędności wynikające ze stosowania analizy ryzyka wynikają również z możliwości wyznaczenia przez interdyscyplinarną grupę tych zagrożeń, które wymagają rzeczywistej interwencji bez konieczności wykazywania działań na rzecz poprawy bezpieczeństwa w każdym aspekcie działalności firmy.

Celem i efektem analizy ryzyka jest zatem:

- poprawa bezpieczeństwa;
- ciągła identyfikacja zagrożeń;
- możliwość przeznaczenia odpowiednich środków na redukcję tych najbardziej istotnych zagrożeń;
- możliwość zarządzania ryzykiem na etapie planowania, projektowania i realizacji projektu;
- edukacja i podniesienie świadomości personelu dotyczącego zagrożeń;
- możliwość porównania stanu aktualnego zagrożeń do poprzednich okresów, w których prowadzono analizy ryzyka;
- możliwość porównania ryzyka w różnych jednostkach;
- dowód formalny brania pod uwagę różnych zagrożeń i realizacji faktycznych działań na rzecz zwiększenia bezpieczeństwa.

## 2. METODY ANALIZY RYZYKA STOSOWANE W TRANSPORCIE

Inżynieria bezpieczeństwa dopracowała się wielu metod analizy ryzyka. Generalnie, metody te dzieli się na metody jakościowe i ilościowe. Metody jakościowe posługują się opisem słownym zagrożenia, natomiast praktyka stosowania analizy ryzyka w transporcie wymusiła potrzebę podejmowania decyzji na podstawie danych ilościowych. Z tego powodu wykorzystuje się metody ilościowe, które jako minimum biorą pod uwagę skutek – konsekwencje ewentualnego zdarzenia i prawdopodobieństwo jego wystąpienia lub częstotliwość zachodzących podobnych przypadków. Metoda FMEA jednak wykorzystuje jeszcze jeden wskaźnik, tj. możliwość detekcji lub zapobiegania. Wskaźnik ten bardzo dobrze nawiązuje do faktu częstego stosowania metod wykrywania nieprawidłowości, np. przez kontrolę optyczną lub automatyczną. Na rysunku 1 przedstawiono typowe metody znane w branży kolejowej i branży lotniczej.



Rys. 1. Metody analizy ryzyka znane w branży kolejowej (po lewej) i lotniczej (po prawej)

## 3. DOSTOSOWANIE METODY FMEA DO ANALIZY RYZYKA W TRANSPORCIE LOTNICZYM

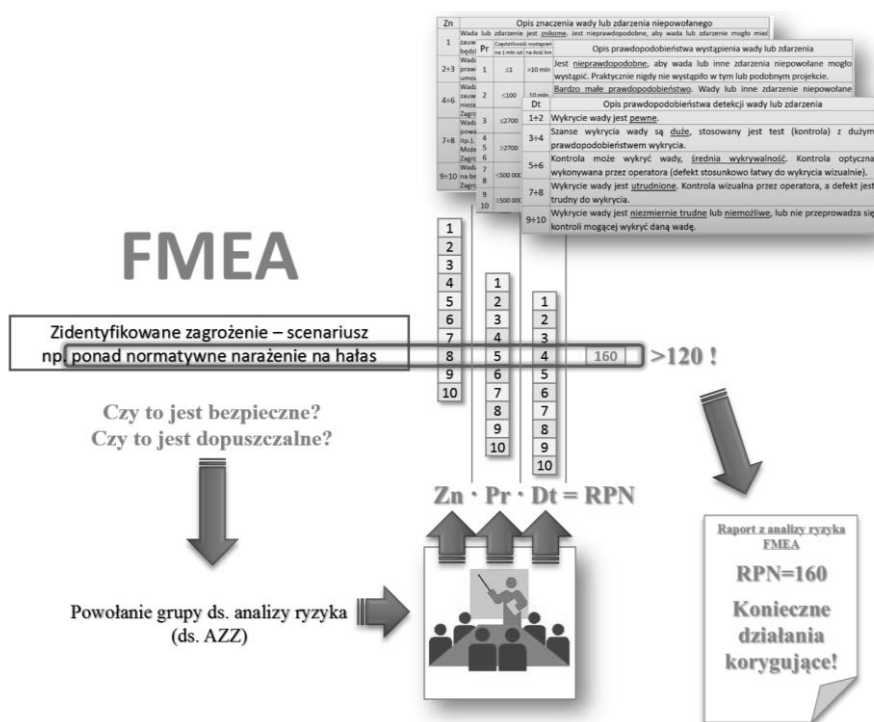
Spośród wskazanych metod w branży kolejowej powszechnie wykorzystuje się metodę FMEA, która po dostosowaniu do specyfiki branży i stosowaniu licznych dobrych praktyk wypracowanych na przestrzeni ostatnich lat pozwala na efektywną redukcję zagrożeń dla zdrowia i życia ludzkiego, funkcjonowania systemu transportowego oraz ryzyka biznesowego. Analiza wymagań prawnych w zakresie analizy ryzyka w branży lotniczej wykazała potrzebę „identyfikowania faktycznych i potencjalnych zagrożeń” oraz wymóg „przygotowania i wdrożenia działań zaradczych” [11], co zapewnia stosowanie metody FMEA zgodnie z założonymi dobrymi praktykami. Branża lotnicza wymaga również jednoczesnego stosowania metod reaktywnych, opierających się na analizie zaistniałych zdarzeń, metod

proaktywnych i predykcyjnych. Wymóg ten można zrealizować, wprowadzając do procedury zarządzania ryzykiem konieczność uwzględnienia w procesie identyfikacji i analizy ryzyka metodą FMEA informacji zawartych w analizie zdarzeń lotniczych, rejestrze zagrożeń, systemie SDCPS (Safety Data Collection and Processing System) oraz informacji wynikających z przeglądów i audytów bezpieczeństwa. Podkreślić należy, że metoda analizy ryzyka FMEA może być wykorzystana również do analizy znaczenia zmiany (technicznej, organizacyjnej lub eksploatacyjnej) w branży lotniczej.

Realizacja analizy ryzyka metodą FMEA według wytycznych wynikających z wymagań normy [3] uzupełnionych dobrymi praktykami branży transportowej zawiera w sobie:

- identyfikację zagrożeń, a ich zestawienie generuje rejestr zagrożeń;
- klasyfikację zagrożeń;
- wskazanie aktualnych środków bezpieczeństwa;
- wartościowanie ryzyka na podstawie trzech wskaźników: znaczenia lub skutku zdarzenia, prawdopodobieństwa jego wystąpienia i możliwości wcześniejszej detekcji, lub zapobiegania;
- konieczność określenia działań zapobiegawczych lub korygujących dla zagrożeń, których wartość RPN (Risk Priority Number) wskazuje na przekroczenie wartości dopuszczalnej ryzyka. Działania te będą stanowić środki bezpieczeństwa, które po ich zastosowaniu i kontroli realizacji będą stanowić środki nadzoru ryzyka, które staną się wymogami bezpieczeństwa.

Schemat postępowania w przypadku wykorzystania metody FMEA do identyfikacji i oceny ryzyka metodą FEMA przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat postępowania dla analizy ryzyka przy wykorzystaniu metody FMEA

Przedstawiony na rysunku 2 schemat postępowania zakłada wykorzystanie przez interdyscyplinarną grupę ds. analizy ryzyka tabel, w których zawarto opis słowny dla poszczególnych wartości (w skali od 1 do 10) znaczenia zagrożenia (skutków), prawdopodobieństwa wystąpienia i detekcji. Niezbędne jest jednak dostosowanie opisu

zagrożeń w tych tabelach do realiów branży lotniczej. Możliwe jest wykorzystanie do tego celu opisów zawartych w dokumencie [10], który dla branży lotniczej proponuje wartości w zakresie od 1 do 5 dla prawdopodobieństwa oraz oznaczenia od A do E dla skutków. Dlatego też, aby umożliwić uzyskanie końcowej wartości RPN, zaproponowano przelicznik przedstawiony na rysunku 3 wraz z dodaniem dodatkowej tabeli, dotyczącej możliwości detekcji i zapobiegania.

Prawdopodobieństwo	Opis prawdopodobieństwa	Wartość	
		SMM	PN-EN 80612*2
Częste	Prawdopodobnie wystąpi (występowało) często	5	9-10
Sporadyczne	Prawdopodobnie wystąpi (występowało) sporadycznie	4	7-8
Niewielkie	Prawdopodobnie nie wystąpi, ale jest to możliwe (występowało rzadko)	3	5-6
Nieprawdopodobne	Bardzo mało prawdopodobne, że wystąpi (nie znany jest przypadek by wystąpiło)	2	3-4
Skrajnie nieprawdopodobne	Prawie niewyobrażalne, że kiedykolwiek może wystąpić	1	1-2

Dotkliwość zdarzenia (Skutki – znaczenie)	Opis znaczenia zdarzenia	Wartość	
		SMM	PN-EN 80612*2
Katastrofalna	- Wiele ofiar; - Zniszczenie sprzętu;	A	9-10
Niebezpieczna	- Duże obniżenie marginesu bezpieczeństwa, niemożność polegania na operatorach, by wykonywali obowiązki dokładnie i kompletnie ze względu na fizyczne obrażenia lub natłok pracy; - Poważne obrażenia ciała; - Duże straty w sprzęcie;	B	7-8
Poważna	- Znaczne obniżenie marginesu bezpieczeństwa, natłok pracy lub warunki osłabiające wydajność operatorów, skutkujące ograniczeniem ich zdolności do radzenia sobie w niekorzystnych sytuacjach/warunkach; - Poważny incydent; - Obrażenia ciała;	C	5-6
Niewielka	- Uciążliwość; - Ograniczenia operacyjne; - Użycie procedur awaryjnych; - Incydenty;	D	3-4
Nieistotna	- Małe konsekwencje.	E	1-2

Detekcja / zapobieganie Dt	Opis prawdopodobieństwa wykrycia zdarzenia
1÷2	Wykrycie wady jest pewne.
3÷4	Szanse wykrycia wady są duże, stosowany jest test (kontrola) z dużym prawdopodobieństwem wykrycia.
5÷6	Kontrola może wykryć wady, średnia wykrywalność. Kontrola optyczna wykonywana przez operatora (defekt stosunkowo łatwy do wykrycia wizualnie).
7÷8	Wykrycie wady jest utrudnione. Kontrola wizualna przez operatora, a defekt jest trudny do wykrycia.
9÷10	Wykrycie wady jest niezmiernie trudne lub niemożliwe, lub nie przeprowadza się kontroli mogącej wykryć daną wadę.

Rys. 3. Propozycja modyfikacji wartości prawdopodobieństwa i znaczenia zdarzenia oraz dodania dodatkowej tabeli określającej detekcję (na bazie [3])

Chcąc stosować metodę FMEA w branży lotniczej, niezbędne jest określenie wartości RPN dopuszczalnej. Optymalną wartość RPN<sub>dop</sub> najlepiej wyznaczyć na podstawie doświadczeń z praktycznej i wieloletniej analizy ryzyka, jednak wstępnie proponuje się wykorzystać wartości wskazane na podstawie przeliczeń przedstawionych na rysunku 4.

Prawdopodobieństwo ryzyka			Dotkliwość ryzyka				
			Katastrofalna A (9-10)	Niebezpieczna B (7-8)	Poważna C (5-6)	Niewielka D (3-4)	Nieistotna E (1-2)
Częste	5	9-10	5A (81-100)	5B	5C (45-60)	5D (27-40)	5E (9-20)
Sporadyczne	4	7-8	4A (63-80)	4B (49-64)	4C (35-48)	4D (21-32)	4E (7-16)
Niewielkie	3	5-6	3A (45-60)	3B (35-48)	3C (25-36)	3D (15-24)	3E (5-12)
Nieprawdopodobne	2	3-4	2A (27-40)	2B (21-32)	2C (15-24)	2D (9-16)	2E (3-8)
Skrajnie nieprawdopodobne	1	1-2	1A (9-20)	1B (7-16)	1C (5-12)	1D (3-8)	1E (1-4)
			31 (27-35)		20 (16-24)		

**W FMEA dochodzi detekcja i zapobieganie w zakresie 1-10. Dla średniej 5 uzyskuje się wartości**  
 $RPN_{kor} = 50 * 5 = 155$  i  $RPN_{zap} = 24 * 5 = 120$   
 Analogicznie jak dla branży kolejowej

Rys. 4. Sposób wstępnego szacowania wartości RPN dopuszczalnej dla branży lotniczej

Uzyskane wartości RPN zapobiegawcze wynoszą 120 i RPN korygujące 155, co jest zbliżone do wartości stosowanych w branży kolejowej (120 i 150).

#### 4. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonej analizy można wyciągnąć następujące wnioski i określić kierunku dalszych prac:

- Istnieje wiele obszarów w branży transportowej, w których możliwe jest wzajemne wykorzystanie wiedzy i doświadczenia w zakresie analizy ryzyka;
- W zakresie analizy ryzyka możliwe jest wykorzystanie doświadczeń i dobrych praktyk stosowania metody FMEA wraz z jej dostosowaniem do specyficznych wymagań branży lotniczej;
- Zapewnienie jakości i niezawodności oraz bezpieczeństwa technicznego środków transportu i ich elementów zapewniają bliźniacze standardy IRIS i AS9100 wraz z analizą FMEA i RAMS;
- Konieczność walidacji zaproponowanych wartości RPN dop na bazie wielu analiz ryzyka prowadzonych dla zagrożeń w transporcie lotniczym;
- Opracowanie tabel dotyczących znaczenia, prawdopodobieństwa i detekcji (zapobiegania) z opisem adekwatnym dla transportu lotniczego.

Konieczne jest rozpowszechnienie metody FMEA dla jej powszechnego wykorzystania w szczególności dla zagrożeń operacyjnych jak i zagrożeń wynikających z wprowadzanych zmian lub planowanych inwestycji i ich wpływu na bezpieczeństwo ludzi, mienia i środowiska naturalnego.

## References

1. Koźmiński A.K., W. Piotrowski. 2001. *Zarządzanie. Teoria i praktyka*. Warszawa: PWN. [In Polish: Management. Theory and practice].
2. PN-EN 60812. *Techniki analizy nieuszkodzalności systemów – procedura analizy rodzajów i skutków uszkodzeń- Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effect analysis (FMEA)*.
3. Huber Zbigniew. 2007. *Kawa na ławę - Analiza FMEA procesu*. Gliwice: Złote Myśli Sp. z o.o. ISBN: 978-83-7582-029-4. [In Polish: *Coffee on the table - FMEA process*].
4. Rozporządzenie Komisji (WE) NR 352/2009 z dnia 24 kwietnia 2009 r. w sprawie przyjęcia wspólnej metody oceny bezpieczeństwa w zakresie wyceny i oceny ryzyka, o której mowa w art. 6 ust. 3 lit. a) dyrektywy 2004/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady. [In Polish: Commission Regulation (EC) No 352/2009 of 24 April 2009. On the adoption of a common safety method for assessing the valuation and risk assessment referred to in Art. 6 paragraph. 3 point a) of Directive 2004/49 / EC of the European Parliament and of the Council].
5. Romanowska-Słomka I., A. Słomka. 2008. *Ryzyko zawodowe. Procedury, metody, zagrożenia*. Wrocław: Ośrodek Szkolenia PIP. [In Polish: *Occupational risk. Procedures, methods, threats*].
6. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (Dz. U. z 1997 r. Nr 129, poz. 844 z późn. zm.). [In Polish: *Minister of Labour and Social Policy of 26 September 1997. On general safety and health at work*].
7. Norma PN-N 18002:2000. *System zarządzania bezpieczeństwem i higiena pracy. Ogólne wytyczne do oceny ryzyka zawodowego*. [In Polish: *The PN-N 18002: 2000. System safety management and occupational health. General guidelines for risk assessment*].
8. Borysiewicz Mieczysław, Andrzej Furtek, Sławomir Potempski. 2000. *Poradnik metod ocen ryzyka związanego z niebezpiecznymi instalacjami procesowymi*. Otwock-Świerk: Instytut Energii Atomowej. [In Polish: *Explained methods of risk assessment for hazardous process systems*].
9. Skorupski Jacek. 2011. *Wybrane zagadnienia sterowania obiektami latającymi (praca zbiorowa). Metody analizy ryzyka w sterowaniu ruchem lotniczym*. Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. ISBN 978-83-7199-653-5. [In Polish: *Selected issues of control flying objects (collective work). Risk analysis in air traffic control*].
10. DOC 9859 - *PODRĘCZNIK ZARZĄDZANIA BEZPIECZEŃSTWEM – SMSM*. 2015. [In Polish: DOC 9859 - *SAFETY MANAGEMENT MANUAL – SMSM*. 2015.].
11. ICAO Convention on International Civil Aviation – Annex 19 *Safety management*. July 2013.

Received 08.06.2015; accepted in revised form 25.09.2015



Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License