

ROZDZIAŁ IV

Rola badań prototypów na przykładzie samochodów ciężarowych wysokiej mobilności

Konkurowanie wyrobów i usług na rynku odbywa się zasadniczo w dwóch aspektach, tj. ceny i jakości. Dlatego też w procesie projektowania nowego wyrobu i jego procesu wytwarzania zasadniczym celem do osiągnięcia jest spełnienie istniejących i przyszłych wymagań jakościowych rynku, zapewniając, przy danej cenie, konkurencyjność.

W odniesieniu do samochodów o zapewnieniu jakości będą decydować jakość projektowa i jakość wytwarzania.

Jakość projektowa powstaje w pętli iteracyjnej przez budowanie prototypów i badania, aż do osiągnięcia oceny pozytywnej w tym procesie, który doprowadzi do stanu *stworzenia zaufania co do tego, że wyrób spełni ustalone wymagania jakościowe*¹.

Największe możliwości zapobieżenia wystąpieniu wad konstrukcyjnych posiada projektant tworzący nowy wyrób. Gdy produkt trafi do produkcji seryjnej lub nawet do klienta, możliwości likwidacji błędów są ograniczone i jednocześnie bardzo kosztowne.

Jednym z narzędzi stosowanych w zarządzaniu jakością w fazie „uzyskania obiektu” jest stosowanie w procesie tworzenia konstrukcji wyrobu metod analizy przyczyn i skutków wad FMEA^{2,3} (ang. Failure Mode and Effects Analysis).

Sposobem weryfikacji uzyskanej jakości konstrukcyjnej jest budowa prototypów i ich badanie.

W niniejszym opracowaniu podjęto próbę ilościowego wykazania roli analizy przyczyn i skutków wad, wymuszonej wykrytymi wadami konstrukcyjnymi lub wykonawczymi, na przykładzie badań prototypów pojazdów wysokiej mobilności konstruowanych i wdrażanych do praktyki eksploatacyjnej.

¹ PN/EN 28402, ISO 8402 (Jakość – terminologia), oraz PN – 93/N – 50191 (Niezawodność; jakość usługi).

² PN-IEC 812:1994 – Procedura analizy rodzajów i skutków uszkodzeń.

³ MIL-STD-1329.

Ogólna charakterystyka FMEA

Za datę powstania FMEA uważa się 9 listopada 1949 roku, kiedy to opracowano w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej procedurę: MIL-P 1629 „Procedure for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis”.

Początkowo FMEA stosowana była w przemyśle zbrojeniowym i badań kosmicznych, wykorzystywała ją m.in. NASA.

W późnych latach 70. XX w. firma Ford zastosowała pierwszy raz FMEA do analizy produkowanych samochodów pod kątem ich bezpieczeństwa i wymogów prawnych.

Metoda FMEA to usystematyzowany ciąg działań, których podstawowym celem jest identyfikacja występujących i potencjalnych wad i błędów oraz ich przyczyn dla zmniejszenia ryzyka ich wystąpienia poprzez przygotowanie i wdrożenie działań korygujących.

Analiza FMEA obejmuje:

- analizę przyczyn i skutków wad,
- analizę możliwości i efektów powstawania wad,
- analizę możliwych przyczyn i skutków wad,
- analizę przyczyn, skutków i krytyczności wad – FMECA (ang. Failure Mode Effects and Criticality Analysis).

Przedmiot analizy FMEA może być różny. Dlatego w zależności od tego, co będzie badane, należy wybrać odpowiednią odmianę; wyróżnić możemy m.in.:

- system FMEA – analiza systemu,
- design FMEA, dFMEA – analiza wyrobu (konstrukcji, projektowania),
- process FMEA, pFMEA – analiza procesu,
- machine FMEA – analiza maszyny,
- environmental FMEA – analiza organizacji przez pryzmat wymagań środowiskowych,
- software FMEA – analiza oprogramowania (software).

W praktyce najczęściej stosowana jest analiza **FMEA wyrobu** i **FMEA procesu**.

FMEA wyrobu jest ukierunkowana głównie na optymalizację niezawodności. W wyniku jej przeprowadzenia uzyskujemy informacje o silnych i słabych punktach wyrobu. Oprócz działań prewencyjnych pozwala na określenie działań, które powinny być podjęte, gdy produkt opuści przedsiębiorstwo, działań obejmujących cały cykl życia produktu (eksploatację, serwis, utylizację).

Analiza może dotyczyć całego produktu lub jego zespołów czy też podzespołów, a w wyjątkowych sytuacjach jego części. Przeprowadzenie FMEA produktu jest szczególnie zalecane w sytuacjach wprowadzania nowych produktów, części, materiałów, technologii, podczas gdy występuje duże zagrożenie dla człowieka lub otoczenia w przypadku awarii wyrobu (brak wad)

oraz w przypadku, kiedy produkt podlega eksploatacji w szczególnie trudnych warunkach.

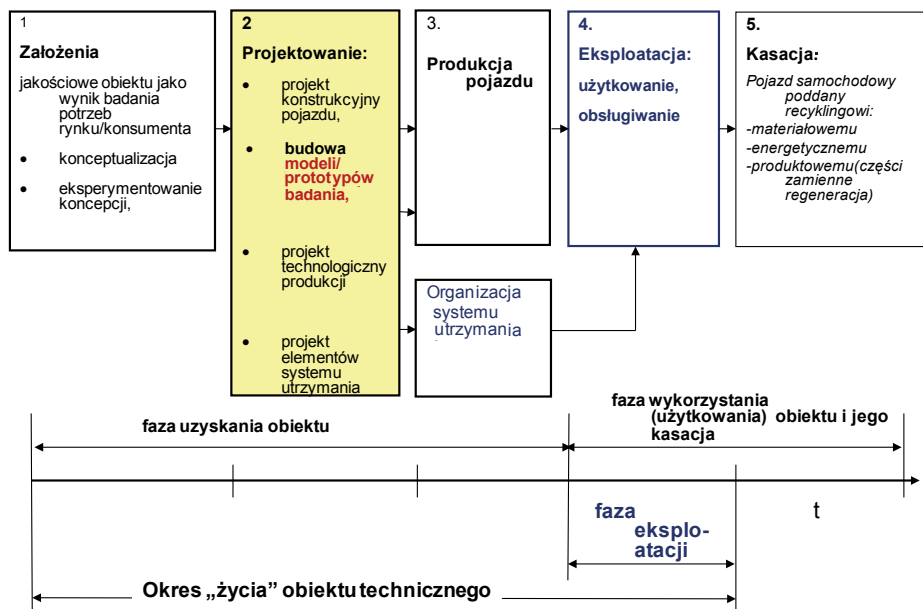
FMEA procesu jest prowadzona w celu rozpoznania czynników, które mogą prowadzić do ewentualnych zakłóceń procesów wytwarzania. Czynniki te mogą być związane z: metodami obróbki, parametrami obróbki, środkami pomiarowo-kontrolnymi, maszynami i urządzeniami.

FMEA procesu stosowana jest w początkowej fazie projektowania procesów technologicznych, przed uruchomieniem produkcji seryjnej (planowanie produkcji) oraz w produkcji seryjnej w celu doskonalenia procesów, które są niestabilne lub nie zapewniają uzyskania wymaganej wydajności.

FMEA wyrobu można stosować w różnych fazach powstania produktu: od koncepcji produktu, poprzez wdrożenie do produkcji, w czasie wdrażania produktu na skalę przemysłową, produkcji oraz eksploatacji.

Wyróżnia się następujące fazy⁴ procesu życia wyrobu (rysunek nr 1):

1. Koncepcja i definiowanie WZTT/ZTT;
2. Projektowanie i rozwój: budowa prototypów, badania, diagnostyka prototypów, działania korygujące konstrukcję lub/i technologię wytwarzania;
3. Produkcja (wytwarzanie) – badania z serii produkcyjnej;
4. Eksploatacja;
5. Likwidacja.



Rys. 1. Zasadnicze fazy procesu życia wyrobu

⁴ NO-06-A011; 2003. Fazy procesu życia techniki wojskowej.

W dalszej części przedstawiono charakterystykę układu zdarzeń będących informacją o wadliwym funkcjonowaniu badanych prototypów pojazdu lub przerwie wywołanej uszkodzeniem w czasie badań przebiegiem^{5,6}.

Charakterystyka ilości wykrytych wad konstrukcyjnych i wykonawczych na przykładzie badań prototypów samochodów wysokiej mobilności

Podczas badań prototypów samochodów wysokiej mobilności rejestrowano dane o wadliwym ich funkcjonowaniu lub przerwie wywołanej uszkodzeniem podczas realizowanego przebiegu.

Zdarzenia te podlegały analizie przyczyn i skutków wad według procedur FMEA (ang. Failure Mode and Effects Analysis).

W pierwszym kroku analizy zdarzenia podzielono na trzy grupy według przyjętego kryterium, jakim była przyczyna wykrytych wad/uszkodzeń.

Do pierwszej grupy kwalifikowano wady lub/i uszkodzenia spowodowane błędami konstrukcyjnymi. Do drugiej grupy należą wykryte wady spowodowane błędami technologii wykonania. Trzecią grupę stanowią uszkodzenia powstałe jako rezultat zużycia (eksploatacyjne) podczas badań przebiegowych.

Zdarzenia z grupy pierwszej i drugiej podlegały analizie możliwych sposobów zmian konstrukcyjnych i technologicznych wykonania w celu eliminacji tych wad.

Natomiast zdarzenia z grupy trzeciej stanowiły wstępne dane o „uszkadzalności” jako informacje dla organizacji logistyki i utrzymania w przyszłej eksploatacji, ale też dane do wstępnej oceny niezawodności badanego pojazdu poprzez porównanie z innymi np. eksploatowanymi w dany transportowym.

Przykład charakterystyki rozkładu wykrytych uszkodzeń lub/i wadliwego funkcjonowania mechanizmów badanego pojazdu (na realizowanym przebiegu s[tys.km]) z winy wad konstrukcyjnych i wykonawczych, ale też uszkodzeń eksploatacyjnych, opracowanej na podstawie informacji z wieloletnich badań samochodów ciężarowych w WITPiS, przedstawia rysunek nr 2.

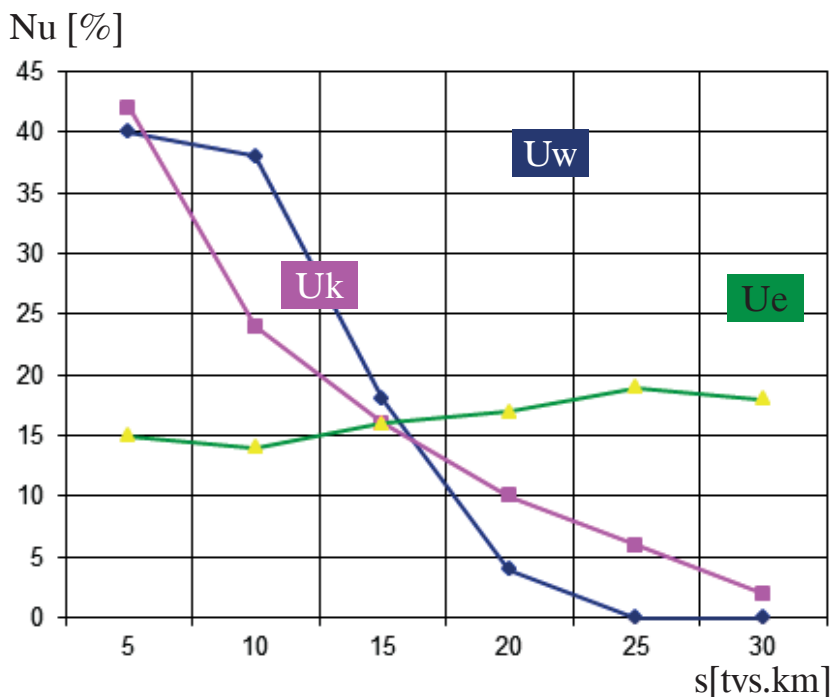
Jak wynika z przedstawionej charakterystyki, w początkowym okresie realizowanego przebiegu największy procent wykrywanych jest uszkodzeń powstałych z winy wad konstrukcyjnych i wykonawczych, zaś uszkodzenia eksploatacyjne rozkładają się równomiernie w całym zakresie badawczym.

⁵ AVTP (11-20). Procedura badawcza NATO 1993.

⁶ Norma NO-06-A102:2005; Uzbrojenie i sprzęt wojskowy. Ogólne wymagania techniczne, metody kontroli i badań. Wymagania niezawodnościowe.

Charakterystyka $U_e=f(s)$, pozwala na wstępną ocenę porównawczą z innymi eksploatowanymi pojazdami innych marek i typów.

Charakterystyki $U_w=f(s)$ i $U_k=f(s)$, wskazują przebieg prototypu potrzebny do wykrycia wad konstrukcyjnych i wykonawczych.



Rys. 2. Charakterystyka wykrytych wad i uszkodzeń prototypu; według przyczyn: U_k – wad konstrukcyjnych, U_w – wad wykonawczych, U_e – zużycia eksploatacyjnego

Obserwacja wad i uszkodzeń w tym okresie i analiza ich przyczyn prowadzi do wykrycia błędów konstrukcyjnych i wykonawczych, co w następnym kroku pozwala ustalić zakres działań korygujących konstrukcję lub/i technologie wykonania i stanowi podstawę do uzyskania właściwej jakości projektowej i wykonawczej pojazdu.

Każda zmiana korygująca konstrukcję lub/i technologię wykonania będzie wymagała sprawdzenia jej skuteczności. Będzie to powodem potrzeby wydłużenia wcześniej ustalonego czasu badania. Dodatkowa wielkość potrzebnego przebiegu badanego pojazdu wynikać będzie z analizy wpływu specyfiki wprowadzonych zmian, eliminujących wykryte wady/uszkodzenia na funkcjonowanie całego pojazdu.

Informacje o uszkodzeniach lub/i wadliwie funkcjonujących mechanizmach pojazdów, rejestrowane podczas użytkowania prototypu, stanowią podstawę do

osiągnięcia poprzez „działania korygujące” właściwej jakości projektowej i wykonawczej pojazdu produkowanego seryjnie.

Potwierdzenie skutecznego usunięcia wszystkich wykrytych wad konstrukcyjnych i wykonawczych powinno nastąpić w procesie badania pierwszych pojazdów z serii produkcyjnej. Wyniki tych badań powinny dać też informacje do organizacji logistycznego zabezpieczenia eksploatacji tych pojazdów.

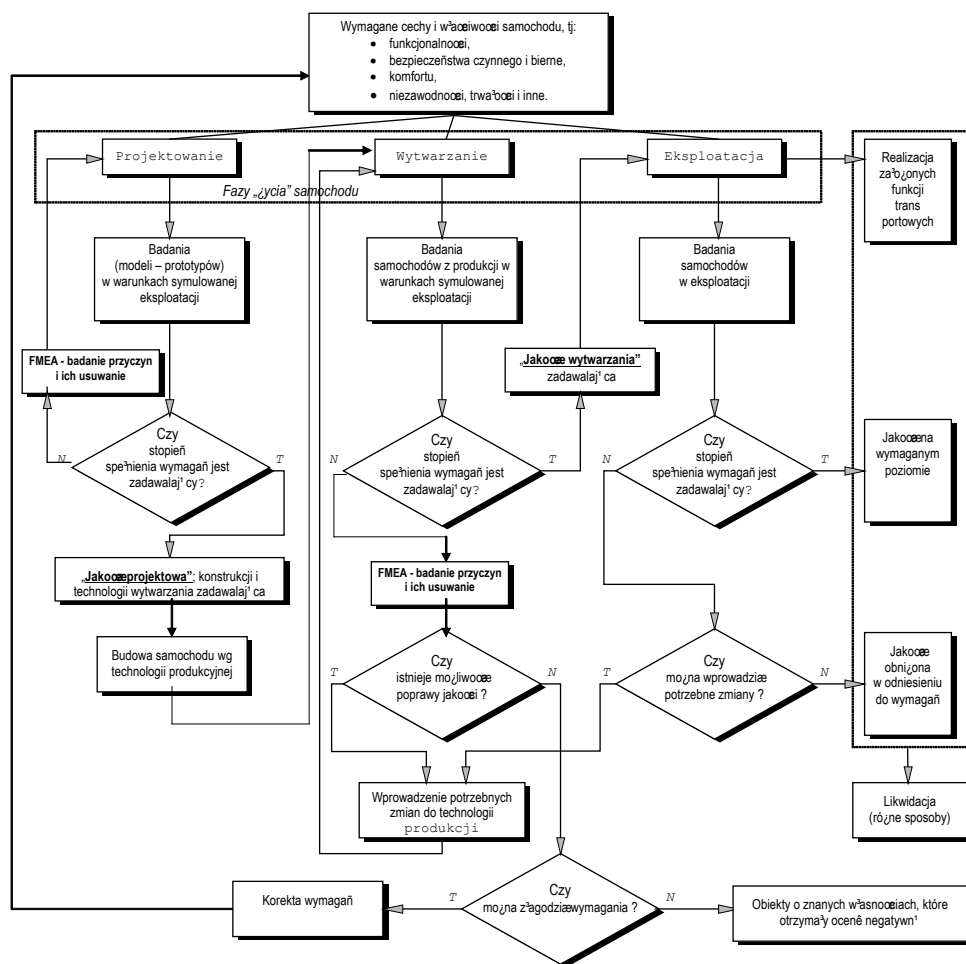
Z przedstawionej charakterystyki na rys. 10 wynika, że uzyskane parametry przebiegu badawczego, w którym wykryto wady i uszkodzenia z przyczyn błędów konstrukcyjnych i wykonawczych, są zbliżone do danych zawartych w specyfikacji MIL⁷. W dokumencie tym określone są warunki oraz zakres badania i testowania samochodów dla wojska. Założony jest tu też czas badań oraz przebieg, określony na 20000 mil, który należy wykonać podczas państwowych badań kwalifikacyjnych i testów. Podane są tu też skwantyfikowane kryteria oceny, w tym niezawodnościowe, obejmujące ocenę „nieuszkodzalności” i „obsługiwalności” oraz trwałości.

W systemie transportu wojskowego w czasie pokoju, pojazdy z powodu niskiej intensywności użytkowania podlegają starzeniu fizycznemu i ekonomicznemu. Odnowa odbywa się poprzez wprowadzanie pojazdów nowoczesnych konstrukcji, ale często racjonalnym sposobem doskonalenia jakości starzejących się konstrukcji samochodu jest modernizacja. Ustalenie zakresu modernizacji powinno odbywać się na podstawie możliwości i wiedzy o nowych technologiach, ale też w oparciu o wiedzę z dotychczasowej eksploatacji (uzyskaną z odpowiednio zorganizowanych systemów informacji) o wadach i zalecanych pojazdach przeznaczonych do modernizacji.

Przebieg danych dla analiz FMEA we wszystkich fazach jego „życia” przedstawia rysunek nr 3.

Ten sposób postępowania jest szczególnie istotny w procesie doboru racjonalnych zmian modernizacyjnych starzejących się konstrukcji pojazdów, utrzymując ich zdolność eksploatacyjną w zmieniających się w czasie wymaganiach jakościowych.

⁷ MIL-T-740G C. Specyfikacja na samochody ciężarowe konstrukcji wojskowej, Waszyngton 1989.



Rys. 3. Miejsce badań i analiz FMEA w kształtowaniu jakości samochodu we wszystkich fazach jego „życia”

Wnioski

1. Wykrywanie wad podczas realizacji testów zawartych w programie badań prototypu pojazdu wymaga odpowiednich warunków badań oraz zespołów badawczych o dużej wiedzy inżynierskiej i doświadczeniu jako badacze, zdolnych do stawiania ocen i wskazywania sposobów usuwania wykrytych wad w badanym pojeździe.
2. Wykrycie wad w badanych prototypach samochodów wymaga obserwacji funkcjonowania pojazdu w warunkach symulowanej eksploatacji,

stąd potrzebny jest odpowiedni czas badań prototypu i jego przebieg. Parametry czasu i przebiegu oraz charakterystyki rodzaju i rozkładu dróg wynikają z norm oraz doświadczeń w dotychczasowych procesach projektowania pojazdów.

3. Warunki badań drogowych, tj udział dróg, doświadczenie kierowcy, dyscyplina prędkości jazd, mają wygenerować odpowiednie widmo obciążeń zmęczeniowych. Warunki te dają czas oddziaływania bodźców wywołujących zużywanie się mechanizmów pod wpływem tarcia i zmęczenia, w tym sprawdzenie wytrzymałości doraźnej.
4. Monitorowanie funkcjonowania pojazdu oraz jego stanu technicznego, w tym obsługiwanie operatorskie i techniczne, powinno odbywać się przez odpowiednio doświadczonych kierowców/mechaników/badaczy.