

JOANNA FABIŚ-DOMAGAŁA*

ANALIZA FMEA NAPĘDÓW HYDRAULICZNYCH Z WYKORZYSTANIEM TRYBU KOLORÓW INDEKSOWYCH

FMEA ANALYSIS OF HYDRAULIC DRIVES USING INDEXED COLOR MODE

Streszczenie

W artykule przedstawiono macierzową analizę przyczyn i skutków powstawania wad (FMEA) w napędach hydraulicznych. Określono cechy charakterystyczne poszczególnych elementów, funkcje jakie realizują w analizowanym systemie oraz wady jakim mogą ulec w czasie wykonywanej pracy. Zidentyfikowano zależności zachodzące pomiędzy parami współpracujących elementów oraz ich potencjalne wady otrzymując informacje na temat możliwości wystąpienia wad dla danej funkcji. Do oceny zachodzących relacji wykorzystano tryb kolorów indeksowanych.

Słowa kluczowe: FMEA, analiza, RGB, siłownik hydrauliczny

Abstract

This paper presents fault mode and effects matrix analysis (FMEA) at hydraulic drives. For each hydraulic elements their features, functions which they realize in analyzed system and failures were defined. Relations between pairs of working elements and potential failures were defined. On the basis of these relations information about probability of potential failures for analyzed function were obtained. Indexed color mode was used to estimate analyzed relations.

Keywords: FMEA, analysis, RGB, hydraulic cylinder

* Mgr inż. Joanna Fabiś-Domagąła, Instytut Informatyki Stosowanej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska.

Oznaczenia

- c – cecha charakterystyczna elementu siłownika hydraulicznego
- e – element siłownika hydraulicznego
- E – zbiór elementów siłownika hydraulicznego
- f – funkcja
- p – pary współpracujących elementów siłownika hydraulicznego
- P – zbiór par elementów siłownika hydraulicznego
- w – wada

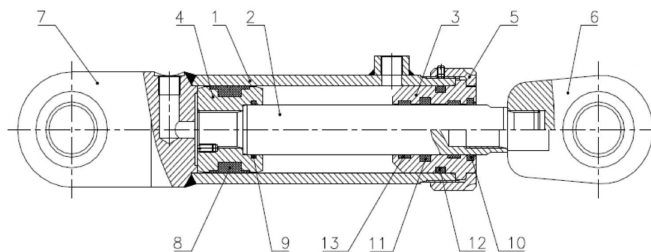
1. Wstęp

Napędy hydrauliczne w wielu maszynach roboczych są podstawowymi urządzeniami służącymi do przekazywania energii. Stosowane są ze względu na ich precyzyjne działanie, małe koszty konserwacji, standaryzację elementów, łatwość automatyzacji, trwałość czy też niezawodność w czasie wykonywanej pracy. Jednak są to urządzenia wrażliwe na uszkodzenia i awarie. Dlatego ważne jest, aby jak najwcześniej zidentyfikować możliwe do wystąpienia wady i jak najszybciej podjąć odpowiednie działania zapobiegawcze. Nieznajomość możliwych do wystąpienia wad może negatywnie wpływać na pracę całej maszyny roboczej, powodując jej uszkodzenie czy też wyłączenie z ruchu. Brak informacji o potencjalnych wadach może stanowić zagrożenie dla naturalnego środowiska człowieka, a nawet zagrażać jego zdrowiu i życiu. Dlatego ważne jest, by już na etapie projektowania lub wprowadzania zmian do napędów hydraulicznych, identyfikować potencjalne wady, ich przyczyny i skutki. Jedną z metod, która pozwala na wczesne określenie potencjalnych wad, jest macierzowa analiza przyczyn i skutków powstawania wad (FMEA).

W artykule przedstawiono macierzową analizę FMEA dla napędu hydraulicznego, na przykładzie siłownika hydraulicznego, z wykorzystaniem 8-bitowej palety barw.

2. Obiekt analizy

Analizę FMEA przeprowadzono dla siłownika hydraulicznego dwustronnego działania z tłoczyskiem jednostronnym o mocowaniu wahliwym [1].



Rys. 1. Schemat siłownika hydraulicznego
Fig. 1. Scheme of hydraulic cylinder

Siłownik hydrauliczny zbudowany jest z: cylindra (1), tłoczyska (2), dławicy (3), tłoka (4), nakrętki (5), ucha wahliwego (6), dna cylindra (7), uszczelki tłokowej (8), pierścieni uszczelniających (9), (11), (12), pierścienia zgarniającego (10) i pierścienia prowadzącego (13).

W celu określenia przyczyn i skutków powstawania wad w konstrukcji siłownika wyróżniono elementy (e), które mogą mieć wpływ na jego wadliwą pracę. Są to: cylinder (e_1), tłok (e_2), tłoczysko (e_3), pierścień uszczelniający (e_4), uszczelka tłokowa (e_5), pierścień zgarniający (e_6), pierścień prowadzący (e_7), dławica (e_8), nakrętka (e_9) oraz ucho wahliwe (e_{10}). Zidentyfikowane elementy tworzą zbiór, który zostanie poddany dalszej analizie

$$\{e_1, e_2, \dots, e_n\} \in E, \quad (1)$$

gdzie:

- e_1, e_2, e_n – elementy siłownika hydraulicznego,
- E – zbiór elementów siłownika hydraulicznego.

Zidentyfikowane elementy tworzą dziesięcioelementowy zbiór E

$$\{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7, e_8, e_9, e_{10}\} \in E \quad (2)$$

Dla każdego elementu ze zbioru E określono jego cechy charakterystyczne (c), które mogą mieć wpływ na wystąpienie potencjalnej wady: e_1 – gwint (c_1), powierzchnia (c_2), e_2 – gwint (c_1), powierzchnia (c_2), rowek (c_3), e_3 – gwint (c_1), powierzchnia (c_2), otwór (c_4), e_4 – powierzchnia (c_2), e_5 – powierzchnia (c_2), e_6 – powierzchnia (c_2), e_7 – powierzchnia (c_2), e_8 – powierzchnia (c_2), e_9 – gwint (c_1), powierzchnia (c_2), e_{10} – gwint (c_1), otwór (c_4).

Na podstawie zbioru elementów siłownika (E) i czteroelementowego zbioru cech charakterystycznych (C) zidentyfikowano pary współpracujących elementów (p) i określono zbiór par elementów siłownika hydraulicznego (P), które zostaną poddane dalszej analizie FMEA:

$$\{p_1, p_2, \dots, p_n\} \in P \quad (3)$$

gdzie:

- p_1, p_2, p_n – pary współpracujących elementów siłownika hydraulicznego,
- P – zbiór par elementów siłownika hydraulicznego.

Tabela 1 przedstawia diagram zależności (**EE**) identyfikujący siedemnaście par elementów siłownika hydraulicznego:

$$\{p_1, p_2, p_3, \dots, p_{17}\} \in P \quad (4)$$

W diagramie **EE** dla każdego elementu e_i, e_j wstawiono wartość (p_n), gdy istnieje para, wartość (x) gdy występują zależności pomiędzy tymi samymi elementami (np. $e_1 e_1$), natomiast wartość (-), gdy brak zależności pomiędzy różnymi elementami siłownika.

Relacje zachodzące pomiędzy zbiorem elementów siłownika hydraulicznego (E) a zbiorem par (P) można określić zależnością

$$E \subset P, \quad (5)$$

gdzie:

- E – zbiór elementów siłownika hydraulicznego,
- P – zbiór par elementów siłownika hydraulicznego.

Pary elementów siłownika hydraulicznego

	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6	e_7	e_8	e_9	e_{10}
e_1	x	p_1	p_2	p_3	p_4	–	–	p_5	p_6	–
e_2	p_1	x	p_7	p_8	p_9	–	–	–	–	–
e_3	p_2	p_7	x	p_{10}	–	p_{11}	p_{12}	–	–	p_{13}
e_4	p_3	p_8	p_{10}	x	–	–	–	p_{14}	–	–
e_5	p_4	p_9	–	–	x	–	–	–	–	–
e_6	–	–	p_{11}	–	–	x	–	p_{15}	–	–
e_7	–	–	p_{12}	–	–	–	x	p_{16}	–	–
e_8	p_5	–	–	p_{14}	–	p_{15}	p_{16}	x	p_{17}	–
e_9	p_6	–	–	–	–	–	–	p_{17}	x	–
e_{10}	–	–	p_{13}	–	–	–	–	–	–	x

3. Macierzowa analiza przyczyn i skutków powstawania wad

W celu identyfikacji możliwych do wystąpienia wad w siłowniku hydraulicznym, w macierzowej analizie FMEA, dla wszystkich par ze zbioru P określono funkcje jakie realizują w siłowniku hydraulicznym. Zidentyfikowano cztery funkcje: ustalająca (f_1), przetwarzająca (f_2), zapobiegająca (f_3), zabezpieczająca (f_4). Tabela 2 przedstawia diagram zależności (**FP**) pomiędzy parami elementów a funkcjami. Dla każdego elementu $f_i p_j$ przypisano wartość 0 lub 1. Jeżeli para nie realizuje funkcji przypisano 0. Jeżeli funkcja jest realizowana to wstawiono wartość 1.

Tabela 2

Pary elementów i ich funkcje (FP)

	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}	p_{16}	p_{17}
f_1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
f_2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f_3	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0
f_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0

Diagram zależności (**FP**) pozwala określić siedemnastoelementowy zbiór funkcja–para.

W kolejnym kroku analizy na podstawie funkcji, jakie realizują pary elementów, określono dziewięcioelementowy zbiór wad (W) dla współpracujących par elementów siłownika hydraulicznego. Są to następujące wady: zużycie przez ścieranie (w_1), korozja szczelinowa (w_2), korozja cierna (w_3), zatarcie (w_4), zmęczenie cierne (w_5), pitting (w_6), zmęczenie cieplne (w_7), zużycie adhezyjne (w_8), zużycie utleniające (w_9). Tabela 3 przedstawia fragment diagramu zależności zachodzących pomiędzy parami elementów i potencjalnymi wadami (**PW**). Każdemu elementowi $p_i w_j$ z diagramu zależności przypisano wartość 1 lub 0. Wartość 1 przypisano, gdy istnieje możliwość wpływu wady na określoną parę. Wartość 0, gdy nie ma takiego wpływu.

Tabela 3

Pary elementów i ich potencjalne wady (PW)

	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8	w_9
p_1	1	0	0	1	0	1	1	1	1
p_2	1	0	1	1	0	0	0	0	0
p_3	1	0	0	0	0	0	0	0	0
p_4	1	0	0	0	0	0	0	0	0
p_5	1	0	0	0	1	0	0	0	0
p_6	1	1	0	0	0	0	0	0	0
p_7	1	1	0	0	1	0	0	0	0
p_8	1	0	0	0	0	0	0	0	0
p_9	1	0	0	0	0	0	0	0	0
p_{10}	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Diagram zależności (PW) pozwala określić trzydziestoczteroelementowy zbiór para-wada.

W ostatnim etapie macierzowej analizy FMEA na podstawie diagramów **FP** i **PW**, wykorzystując zasadę mnożenia macierzy, zbudowano diagram przedstawiający prawdopodobieństwo wystąpienia wady (w) dla par współpracujących elementów (p) ze względu na funkcje (f) realizowane przez te pary w siłowniku hydraulicznym [2]. Tabela 4 przedstawia prawdopodobieństwo wystąpienia wad w zakresie od 0 do 8. Wartość 8 oznacza największe prawdopodobieństwo wystąpienia wady dla danej funkcji.

Tabela 4

Diagram zależności funkcja-wada (FW)

	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8	w_9
f_1	8	3	1	2	1	1	1	1	1
f_2	1	1	0	0	1	0	0	0	0
f_3	4	0	0	0	0	0	0	0	0
f_4	4	4	0	0	0	0	0	0	0

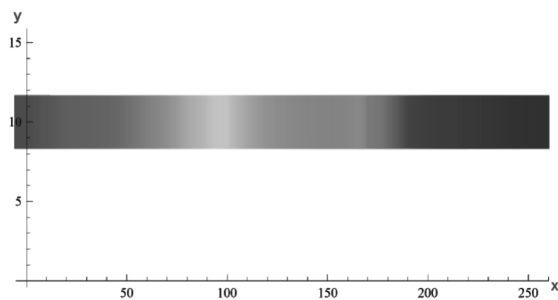
Dla analizowanego siłownika hydraulicznego istnieje największe prawdopodobieństwo wystąpienia zużycia przez ścieranie (w_1) dla par elementów realizujących funkcję ustalającą (f_1).

4. Zastosowanie trybu koloru indeksowego w analizie FMEA

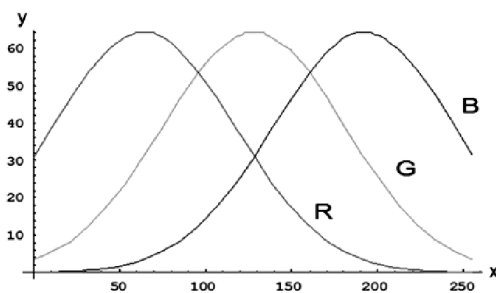
Tryb indeksowany to kanał o kolorach z 256-stopniowej palety barw. W trybie koloru indeksowanego występują różne barwy na tym samym 8-bitowym kanale. Rysunek 2 przedstawia 8-bitowy pasek palety barw, gdzie oś x oznacza kolory z 256-stopniowej palety barw, natomiast oś y to szerokość paska palety barw.

Obrazy w kolorze indeksowanym tworzone są na podstawie modelu RGB, który wynika z właściwości odbiorczych ludzkiego oka. Wrażenie widzenia dowolnej barwy można wywołać przez zmieszanie w ustalonych proporcjach trzech wiązek światła o barwie

czerwonej (R), zielonej (G) i niebieskiej (B). W 8-bitowym zapisie kolorów na składową czerwoną i zieloną przypadają 3 bity, natomiast na składową niebieską 2 bity. Rysunek 3 prezentuje charakterystyki składowych R, G, B o wartościach w zakresie 0–255. Oś x oznacza długość składowych RGB, a oś y oznacza wartości składowych.



Rys. 2. 8-bitowy pasek palety barw
Fig. 2. Color palette of 8-bit



Rys. 3. Charakterystyki składowych RGB
Fig. 3. Characteristic of RGB components

W artykule wykorzystano 8-bitową paletę barw do przedstawienia wartości numerycznych z diagramu zależności \mathbf{FW} (tab. 4) w postaci indeksów kolorów opisujących zależności zachodzące pomiędzy funkcjami realizowanymi przez pary elementów siłownika hydraulicznego a potencjalnymi wadami.

Indeksy kolorów z 256-stopniowej palety barw wyznaczono, korzystając z równania (6):

$$I_k = \mathbf{f}_i \mathbf{w}_j \cdot j_e \quad (6)$$

gdzie:

- I_k – indeks koloru z 8 bitowej palety barw,
- $\mathbf{f}_i \mathbf{w}_j$ – wartości z diagramu zależności \mathbf{FW} ,
- j_e – jednostka elementarna opisana równaniem (7):

$$j_e = 255 / n_{w_{FW}} \quad (7)$$

gdzie:

- $n_{w_{FW}}$ – największa wartość z diagramu zależności \mathbf{FW} .

Dla analizowanego siłownika hydraulicznego jednostka elementarna wynosi

$$j_e = 255 / 8 = 32 \quad (8)$$

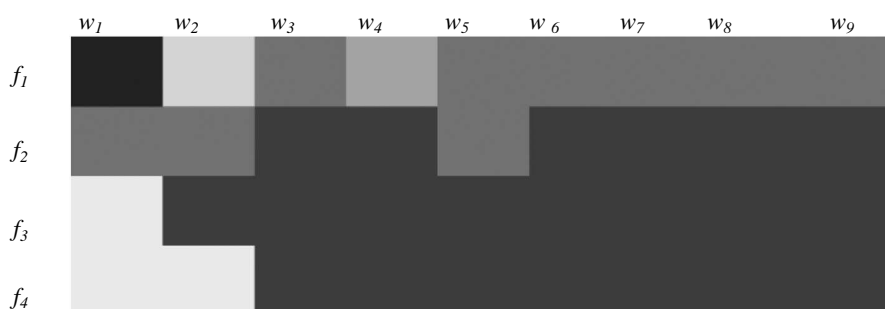
natomiast indeksy kolorów z 256-stopniowej skali barw dla zależności funkcja–wada przedstawiono w tabeli 5, gdzie wartość 255 oznacza kolor niebieski a 0 kolor czerwony.

Tabela 5

Indeksy kolorów dla zależności funkcja-wada

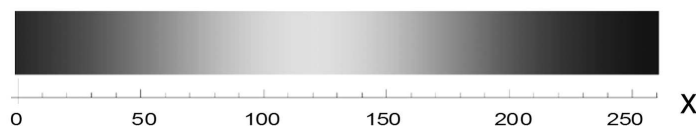
	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8	w_9
f_1	255	96	32	64	32	32	32	32	32
f_2	32	32	0	0	32	0	0	0	0
f_3	128	0	0	0	0	0	0	0	0
f_4	128	128	0	0	0	0	0	0	0

Rysunek 4 przedstawia prawdopodobieństwo wystąpienia wady dla danej funkcji pary za pomocą odpowiedniego indeksu koloru z 8-bitowej palety barw. W polu f_1w_1 istnieje największe prawdopodobieństwo wystąpienia zużycia przez ścieranie dla funkcji ustalającej.



Rys. 4. Identyfikacja potencjalnych wad dla siłownika hydraulicznego
Fig. 4. Identification of potential failures for hydraulic cylinder

Skala przyjęta do oceny prawdopodobieństwa wystąpienia wady dla danej funkcji została przedstawiona na rys. 5. Oś x oznacza kolory z 256-stopniowej palety barw.



Rys. 5. Skala do oceny potencjalnych wad
Fig. 5. Rating scale of potential failures

Kolor o indeksie 0 (czerwony) informuje o najmniejszym prawdopodobieństwie wystąpienia wady dla danej funkcji, natomiast kolor o indeksie 255 (niebieski) oznacza największe prawdopodobieństwo wystąpienia wady dla danej funkcji.

5. Wnioski

W artykule przedstawiono macierzową analizę FMEA z wykorzystaniem 8-bitowej palety barw do identyfikacji potencjalnych wad w napędach hydraulicznych maszyn roboczych. Na przykładzie siłownika hydraulicznego określono zbiór par współpracujących elementów (P), dla których określono potencjalne wady (w) i funkcje (f), jakie realizują w analizowanym obiekcie. Wykorzystując przekształcenia macierzowe, zbudowano diagram zależności funkcja-wada i określono wady o największym prawdopodobieństwie wystąpienia, korzystając z trybu koloru indeksowanego. Relacje zachodzące pomiędzy wadami i funkcjami przedstawiono w postaci kolorów z 256-stopniowej palety barw. Opracowano skalę do oceny zależności funkcja-wada w trybie koloru indeksowanego, która pozwoliła na identyfikację wad o największym prawdopodobieństwie wystąpienia. Obliczenia przeprowadzono w programie Mathematica.

Literatura

- [1] Bipromasz, Materiały informacyjne.
- [2] Stone R.B., Tumer Y., VanWie M., *The Function-Failure Design Method*, Journal of Mechanical Design, 127(3), 2005, 397-407.
- [3] Jankowski M., *Elementy grafiki komputerowej*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne WNT, 2006.