

PODSTAWY EKSPLOATACJI SYSTEMÓW

ĆWICZENIE LABORATORYJNE
NR 7

BADANIE NIEZAWODNOŚCI DIAGNOZ

1. Narzędzia wspomagające realizację ćwiczenia:

– komputerowy program *BND-2017* służący do symulacji procesu diagnozowania w przypadku niepełnej wiarygodności symptomów stanu.

2. Przedmiot ćwiczenia:

– obiekt diagnozowania: wirtualny 8-modułowy obiekt o szeregowej strukturze niezawodnościowej.

3. Cel ćwiczenia:

a) szacowanie wiarygodności diagnoz.

b) dyskusja pojęć: wiarygodność (niezawodność) diagnozy, diagnoza skrócona, diagnoza rozwinięta, niepewność symptomu, niepewność syndromu, niezawodność diagnozy.

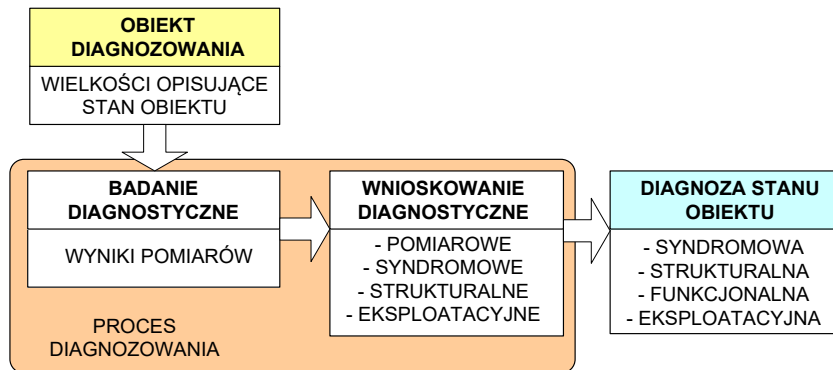
7.1. Podstawy teoretyczne i założenia

Diagnoza prawdziwa jest implikowana prawdziwym syndromem (Rys.7.1).

Syndrom jest prawdziwy wtedy, gdy zawiera symptomy prawdziwe, charakterystyczne dla rzeczywistego stanu obiektu diagnozowanego.

W praktyce eksploatacyjnej nierzadko występuje fałszowanie symptomów, a w konsekwencji fałszowanie syndromów i diagnoz. Powodować to mogą różne czynniki, między innymi:

- losowe zakłócenia sygnałów diagnostycznych (tj. wielkości opisujących stan obiektu);
- niepewność wyników pomiarów;
- błędy operacji wnioskowania itp.



Rys.7.1. Ilustracja procesu diagnozowania

W związku z tym, że procedura diagnozowania nie jest w pełni wiarygodna, to diagnosta powinien mieć ograniczone zaufanie do tego, że otrzymana diagnoza jest prawdziwa. Powinien więc dobrać procedury diagnostyczne pozwalające uzyskiwać wymaganą niezawodność (wiarygodność) diagnoz.

Diagnozę można przedstawić ogólnie w postaci zbioru par:

$$D: \langle \text{STAN} \rightarrow \text{PRAWDOPODOBIENSTWO STANU} \rangle \quad (7.1)$$

Jest to tzw. **diagnoza pełna**:

Diagnoza stanu	$D(\mathcal{E}_0)$	$D(\mathcal{E}_1)$	$D(\mathcal{E}_2)$...	$D(\mathcal{E}_N)$
Prawdopodobieństwo prawdziwości diagnozy	$P(D(\mathcal{E}_0))$	$P(D(\mathcal{E}_1))$	$P(D(\mathcal{E}_2))$...	$P(D(\mathcal{E}_N))$

W warunkach niepewności symptomów przy formułowaniu diagnozy należy analizować rozkład prawdopodobieństw stanów i na tej podstawie formułować diagnozę.

Często, w praktyce, używa się **skróconej postaci diagnozy** tj. diagnozy zawierającej jedynie informację o jednym, najbardziej prawdopodobnym stanie. Selekcję takich diagnoz (pozyskanych w rezultacie testowania obiektu) wyraża warunek (7.2).

Nazwijmy to **kryterium 1**:

$$D(\mathcal{E}_i^*): P(D(\mathcal{E}_i^*)) = \max_{i=0,1,2,\dots,N} P(D(\mathcal{E}_i)) \quad (7.2)$$

Oparcie wyboru diagnozy tylko na warunku (7.2) często nie jest zadowalające, ponieważ wiarygodność wybranej w ten sposób diagnozy może być niska. Oznacza to także niską niezawodność diagnozy. Z tego powodu należy przyjąć dodatkowo warunek (7.3).

Nazwijmy to **kryterium 2**:

$$P(D(\mathcal{E}_i^*)) \geq P_{gr} \quad (7.3)$$

Oznacza to, że należy uzyskać diagnozę nie tylko charakteryzującą się **największym prawdopodobieństwem** wskazywanego stanu, lecz także tym, że **prawdopodobieństwo tego stanu jest nie mniejsze od założonej wartości granicznej**. Wartość ta powinna być bliska jedności gdyż tylko to zapewnia wysoką niezawodność (wiarygodność) przyjmowanej diagnozy.

Jeśli warunek (7.3) nie jest spełniony to należy powtarzać testowanie obiektu.

Testowaniem nazywa się realizację procedury diagnostycznej tj. określonego zestawu sprawdzeń. Testowanie można powtarzać wielokrotnie. Zbiór testowań nazywany jest **sesją diagnostyczną**. Efektem zrealizowania każdego testowania jest syndrom stanu.

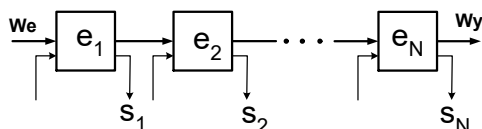
Stwierdzenie, w rezultacie kolejnych testowań, takiego samego syndromu, zwiększa wiarygodność diagnozy, zwłaszcza gdy syndrom ten powtarza się w kolejnych sesjach. Powtarzanie testowania jest równoznaczne z uzyskiwaniem **nadmiaru informacyjnego**.

Wydłuża to – rzecz jasna – wymagany czas diagnozowania, zatem uzyskanie nadmiaru informacyjnego wymaga dysponowania **nadmiarem czasowym**. Należy jednak wziąć pod uwagę, że współczesne procedury diagnostyczne wykorzystują szybkie systemy informatyczne (komputerowe), co znacznie zmniejsza wymagania dotyczące nadmiaru czasowego.

Postawmy pytanie:

„Czy i w jaki sposób przez powtarzanie testowania można uzyskać dostatecznie wiarygodną diagnozę – mimo pojawiania się fałszywych symptomów, a w konsekwencji fałszywych syndromów?”

Zagadnienie to rozpatrzmy na przykładzie prostego obiektu o niezawodnościowej i funkcjonalnej strukturze szeregowej, zawierającego N elementów (Rys. 7.2).



Rys.7.2. Przykładowa struktura obiektu diagnozowanego

Oznaczenia: e_1, e_2, \dots, e_N – elementy obiektu diagnozowania; s_1, s_2, \dots, s_N – wyniki pomiarów (sprawdzeń), które stanowią zarazem symptomy stanu elementów.

Przyjmijmy następujące **założenia**:

1. Liczba elementów obiektu: $N = 8$.
2. Wszystkie elementy obiektu mogą być zdatne lub **co najwyżej jeden** element może być niezdatny.
3. Obiekt jest zdatny jeśli wszystkie elementy są zdatne, a jest niezdatny jeśli jeden element jest niezdatny; zatem obiekt badany może znajdować się w jednym z $8 + 1 = 9$ stanów:

$$\mathcal{E} = \{\mathcal{E}_0, \mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \dots, \mathcal{E}_8\}$$

gdzie: \mathcal{E}_0 – stan zdatności; $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \dots, \mathcal{E}_8$ - stany niezdatności.

4. Stany elementów są wzajemnie niezależne.
5. Stan obiektu jest stabilny, tzn. nie zmienia się w trakcie sesji diagnostycznej, a zbiór jednakowych syndromów dotyczy tego samego stanu.
6. W procedurze diagnozowania (testowania) sprawdzane są **wszystkie** elementy obiektu, sygnał diagnostyczny każdego elementu mierzony jest indywidualnie (Rys.7.2).
7. Wynik i -tego pomiaru determinuje symptom s_i stanu elementu e_i ($i = 1, 2, \dots, 8$); w rozpatrywanym przypadku symptom jest jednowymiarowy (oparty jest na jednym wyniku pomiaru), tor symptomu jest jednoelementowy (tzn. symptom zależy od stanu tylko jednego elementu), tory różnych symptomów są rozłączne.
8. Symptom może przyjmować logiczną wartość **0** lub **1**; symptom negatywny **0** jest symptomem charakterystycznym dla stanu niezdatności elementu, symptom pozytywny **1** jest symptomem charakterystycznym dla stanu zdatności elementu.

9. Zbiór N symptomów stanowi syndrom stanu obiektu; zatem różni się $N+1 = 9$ charakterystycznych syndromów. Przykład zbioru stanów oraz odpowiadających im charakterystycznych symptomów i syndromów pokazuje tabela 7.1.

10. Każdy syndrom jest wnioskowany z odpowiadających mu symptomów. Każdy fałszywy symptom oznacza także fałszywość syndromu, a w konsekwencji fałszywą diagnozę.

11. Syndrom zawierający więcej niż jeden symptom negatywny uznaje się za fałszywy i odrzuca (filtracja wstępna) – zgodnie z założeniem (2).

12. Znane są a priori prawdopodobieństwa uzyskania prawdziwego wyniku każdego pomiaru (tj. znana jest niepewność pomiarowa), a więc: znane są prawdopodobieństwa

$$R_{s_{1+}}, R_{s_{2+}}, \dots, R_{s_{N+}}$$

uzyskania prawdziwych symptomów pozytywnych oraz prawdopodobieństwa

$$R_{s_{1-}}, R_{s_{2-}}, \dots, R_{s_{N-}}$$

uzyskania prawdziwych symptomów negatywnych.

Zatem prawdopodobieństwa uzyskania błędnych symptomów wynoszą odpowiednio:

$$Q_{s_{i+}} = 1 - R_{s_{i+}}; \quad Q_{s_{i-}} = 1 - R_{s_{i-}}; \quad i = 1, 2, \dots, 8$$

13. Dla uproszczenia przyjmijmy, że wartość prawdopodobieństwa otrzymania prawdziwego symptomu negatywnego oraz wartość prawdopodobieństwa otrzymania prawdziwego symptomu pozytywnego są takie same:

$$R_{s_{i+}} = R_{s_{i-}} = R_{s_i} \quad (7.4)$$

14. Znane są prawdopodobieństwa zdatności a priori R_1, R_2, \dots, R_N każdego elementu obiektu.

Tabela 7.1. Ilustracja relacji: stan → syndrom stanu → diagnoza

	Stan zdāt. obiektu	Stany niezdatności obiektu							
Rzeczywisty stan obiektu	\mathcal{E}_0	\mathcal{E}_1	\mathcal{E}_2	\mathcal{E}_3	\mathcal{E}_4	\mathcal{E}_5	\mathcal{E}_6	\mathcal{E}_7	\mathcal{E}_8
Syndrom	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8
Symptom									
s_1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
s_2	1	1	0	1	1	1	1	1	1
s_3	1	1	1	0	1	1	1	1	1
s_4	1	1	1	1	0	1	1	1	1
s_5	1	1	1	1	1	0	1	1	1
s_6	1	1	1	1	1	1	0	1	1
s_7	1	1	1	1	1	1	1	0	1
s_8	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Relacja: syndrom ⇒ ⇒ diagnoza	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Wnioskowana diagnoza	$D(\mathcal{E}_0)$	$D(\mathcal{E}_1)$	$D(\mathcal{E}_2)$	$D(\mathcal{E}_3)$	$D(\mathcal{E}_4)$	$D(\mathcal{E}_5)$	$D(\mathcal{E}_6)$	$D(\mathcal{E}_7)$	$D(\mathcal{E}_8)$

Pierwszą operacją w procedurze diagnozowania (tj. w czasie realizacji testu) jest pomiar sygnałów diagnostycznych oraz zarejestrowanie ich wyników np. w postaci zbioru liczb:

$$X = \langle x_1, x_2, \dots, x_N \rangle \quad (7.5)$$

Drugą operacją jest przetworzenie tych wyników na symptomy stanu (wnioskowanie pomiarowe) na podstawie zastosowanej relacji np. w postaci:

$$\begin{aligned} [x_{id} \leq x_i \leq x_{ig}] &\Rightarrow [s_i = 1] \\ [(x_i < x_{id}) \vee (x_i > x_{ig})] &\Rightarrow [s_i = 0] \end{aligned} \quad (7.6)$$

$$i = 1, 2, \dots, N$$

gdzie: x_{id} , x_{ig} – wartości graniczne przedziału dopuszczalnych wartości sygnału diagnostycznego dla stanu \mathcal{E}_i .

Trzecią operacją jest synteza syndromu na podstawie zbioru otrzymanych symptomów.

Te trzy operacje (jako fragment procedury diagnostycznej) zazwyczaj nazywa się **testowaniem** lub zbiorem **sprawdzeń diagnostycznych**.

Zauważmy, że wyniki pomiarów, wnioskowanie pomiarowe oraz wnioskowanie syndromowe mogą być niepewne. Zatem jednorazowe testowanie i utworzony pojedynczy syndrom nie daje podstaw do twierdzenia że, taka jednosyndromowa diagnoza jest wystarczająco wiarygodna.

W takim przypadku należy zastosować testowanie wielokrotne, a **syntezę diagnozy oprzeć na wnioskowaniu wielosyndromowym**.

7.2. Wnioskowanie diagnostyczne przy niepewnych syndromach

Zgodnie z przyjętymi powyżej założeniami obiekt znajduje się w jednym ze stanów należących do zbioru:

$$\mathcal{E} = \{\mathcal{E}_0, \mathcal{E}_1, \dots, \mathcal{E}_N\} \quad (\text{tu: } N = 8) \quad (7.7)$$

Zgodnie z tabelą 7.1 tym stanom odpowiadają charakterystyczne syndromy tworzące zbiór:

$$S = \{S_0, S_1, \dots, S_N\} \quad (7.8)$$

Można wyznaczyć:

– prawdopodobieństwo a priori stanu zdadności \mathcal{E}_0 obiektu (wszystkie elementy zdadne):

$$P(\mathcal{E}_0) = \prod_{i=1}^N R_i \quad (7.9)$$

– prawdopodobieństwa a priori poszczególnych stanów niezdatności \mathcal{E}_j (jeden element niezdatny):

$$P(\mathcal{E}_j) = (1 - R_j) \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N R_i \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (7.10)$$

Zgodnie z założeniem (7.2) obiekt znajduje się w jednym ze stanów należących do zbioru (7.7), zatem można wyznaczyć warunkowe prawdopodobieństwa tych stanów:

$$P_j = P(\mathcal{E}_j | A) = \frac{P(\mathcal{E}_j)}{\sum_{i=0}^N P(\mathcal{E}_i)} \quad j = 0, 1, 2, \dots, N \quad (7.11)$$

gdzie: A – warunek, polegający na tym, że stan obiektu \mathcal{E}_j należy do zbioru \mathcal{E} .

W celu uzyskania diagnozy pełnej należy zrealizować proces diagnozowania pokazany na rysunku 7.1. W tym celu trzeba wstępnie ustalić liczbę testowań L_t w sesji diagnostycznej oraz wykonać kolejne operacje wymienione poniżej.

1. Wybrać dostępne sygnały diagnostyczne.
2. Zrealizować sesję diagnostyczną L_s .

Wynikiem każdej sesji jest zbiór syndromów S o licznosci L_t (L_t to liczba testowań obiektu w czasie jednej sesji; każde testowanie kończy się syntezą jednego syndromu).

3. Przeprowadzić wzajemną **komparację** otrzymanych syndromów i utworzyć podzbiory charakterystycznych syndromów S_n .

4. Zestawić licznosci utworzonych podzbiorów charakterystycznych syndromów:

$$L = [L_0, L_1, L_2, \dots, L_N];$$

jest oczywiste, że niektóre podzbiory mogą być puste.

5. Stwierdzić, które z następujących zdarzeń są możliwe (w określonej sytuacji zachodzi tylko **jedno** z nich):

– zdarzenie Z_0 , polegające na tym, że **wystąpił stan \mathcal{E}_0** oraz L_0 -krotnie pojawił się syndrom S_0 oraz L_1 -krotnie pojawił się syndrom S_1 oraz L_2 -krotnie pojawił się syndrom S_2 oraz ... oraz L_N -krotnie pojawił się syndrom S_N (jest to iloczyn logiczny zdarzeń);

– zdarzenie Z_1 , polegające na tym, że **wystąpił stan \mathcal{E}_1** oraz L_0 -krotnie pojawił się syndrom S_0 oraz L_1 -krotnie pojawił się syndrom S_1 oraz L_2 -krotnie pojawił się syndrom S_2 oraz ... oraz L_N -krotnie pojawił się syndrom S_N ;

.....

– zdarzenie Z_N , polegające na tym, że **wystąpił stan \mathcal{E}_N** oraz L_0 -krotnie pojawił się syndrom S_0 oraz L_1 -krotnie pojawił się syndrom S_1 oraz L_2 -krotnie pojawił się syndrom S_2 oraz ... oraz L_N -krotnie pojawił się syndrom S_N .

6. Wyznaczyć prawdopodobieństwa tych możliwych zdarzeń (patrz ¹).

7. Wyznaczyć względne prawdopodobieństwa a’posteriori stanów obiektu (na mocy poczynionych założeń zaistnienie zdarzenia Z_n jest równoznaczne z zaistnieniem stanu \mathcal{E}_n):

$$P(\mathcal{E}_n|L) = P(Z_n|L) = \frac{P(Z_n)}{\sum_{i=0}^N P(Z_i)} \quad (7.12)$$

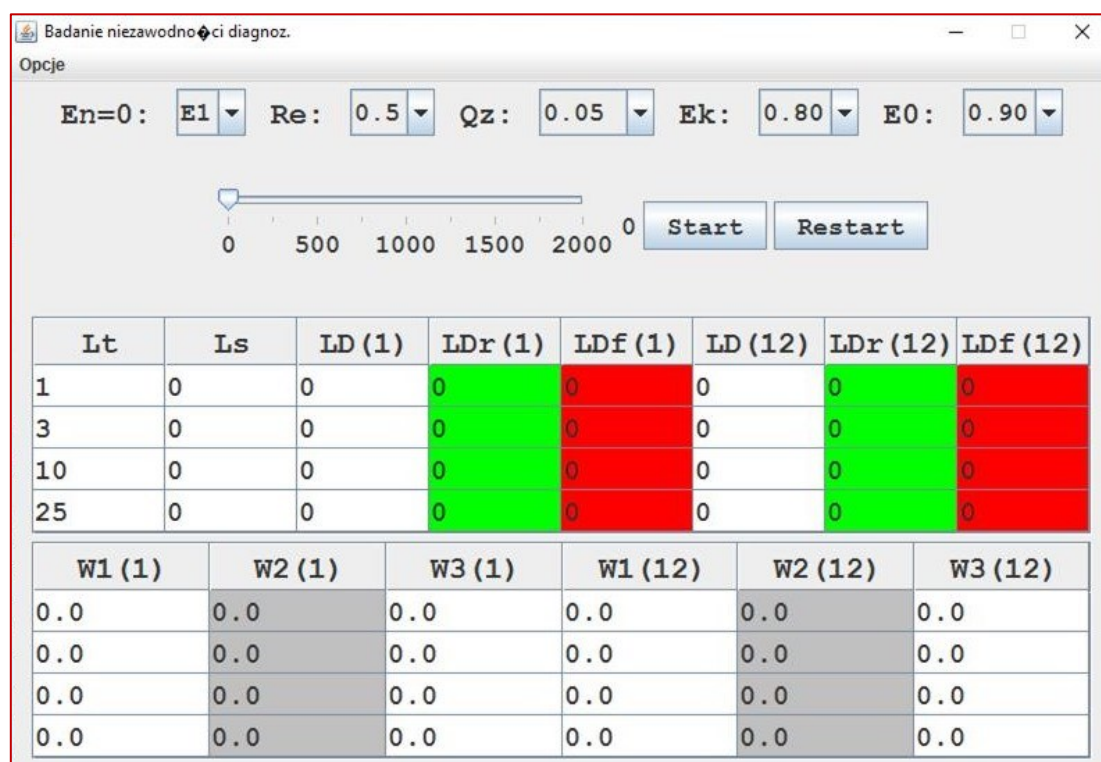
gdzie: $n = 0, 1, 2, \dots, N$; L – zbiór podzbiorów syndromów uznanych za wiarygodne (a tym samym przyjętych w procesie wnioskowania diagnostycznego).

Zapis (7.12) wyraża poszukiwane a’posterioryczne, **warunkowe prawdopodobieństwa poszczególnych stanów obiektu, wyznaczone z uwzględnieniem niepewności pomiarowo-syndromowej** (por. 7.1 oraz 7.11).

¹ Będkowski L., Dąbrowski T.: „Podstawy eksploatacji, cz. 2. Podstawy niezawodności eksploatacyjnej”, Wyd. WAT 2006.

7.3. Opis stanowiska laboratoryjnego

Stanowisko laboratoryjne składa się z komputera wyposażonego w autorski program obliczeniowy *BND-2017*. Wyniki badania symulacyjnego wyświetlane są na ekranie monitora.



Rys. 7.3. Widok interfejsu ekranowego w programie *BND-2017*

W programie przyjęto następujące oznaczenia:

- L_s – liczba sesji diagnostycznych zrealizowanych w badaniu niezawodności diagnoz;
- L_t – liczba testowań syndromowych w sesji;
- $L_D(1)$, $L_D(12)$ – liczba diagnoz przyjętych – odpowiednio wg kryterium 1 oraz (1 i 2);
- $L_{Dr}(1)$, $L_{Dr}(12)$ – liczba prawdziwych diagnoz przyjętych – odpowiednio wg kryterium (1) oraz (1 i 2);
- $L_{Df}(1)$, $L_{Df}(12)$ – liczba falszywych diagnoz przyjętych – odpowiednio wg kryterium (1) oraz (1 i 2);
- R_e – prawdopodobieństwo zdatności (nieuszkodzalność) elementu obiektu (takie samo dla wszystkich elementów);
- Q_z – prawdopodobieństwo zakłócenia (tj. przekłamania) symptomu s_m ;
- E_k – wartość graniczna (tj. minimalna) prawdopodobieństwa prawdziwości przyjmowanej diagnozy wskazującej na k-ty stan niezdatności – przy zastosowaniu kryterium (1 i 2) (w ćwiczeniu przyjmujemy identyczne wartości graniczne dla wszystkich rozróżnianych stanów niezdatności; $k = 1, 2, \dots, 8$);
- E_0 – wartość graniczna (tj. minimalna) prawdopodobieństwa prawdziwości przyjmowanej diagnozy wskazującej na stan zdatności obiektu – przy zastosowaniu kryterium (1 i 2);
- $E_n = 0$ – oznacza numer elementu niezdatnego;
- $P_p(S_n) = (1 - Q_z)^N$ – prawdopodobieństwo a’piori prawdziwości syndromu; tu: $N=8$;

$P(\mathcal{E}_n | L)$ – prawdopodobieństwo a’posteriori stanu \mathcal{E}_n (tym samym – na mocy podanych powyżej założeń – jest to prawdopodobieństwo a’posteriori prawdziwości syndromu wskazującego na ten stan);

t_{1t} – czas realizacji jednego testu (w ćwiczeniu przyjmujemy, że jest to jednostka umowna czasu i przypisujemy jej wartość: $t_{1t} = 1$);

Wskaźniki charakteryzujące uzyskane wyniki badania przy kryterium (1) oraz przy kryteriach (1 i 2):

$$W_1(1) = \frac{L_D(1)}{L_S} ; \quad W_1(12) = \frac{L_D(12)}{L_S} - \text{średnia skuteczność sesji};$$

$$W_2(1) = \frac{L_{Dr}(1)}{L_D(1)} ; \quad W_2(12) = \frac{L_{Dr}(12)}{L_D(12)} - \text{wiarygodność (niezawodność) przyjętej diagnozy};$$

$$W_3(1) = \frac{L_S L_t}{L_D(1)} t_{1t} ; \quad W_3(12) = \frac{L_S L_t}{L_D(12)} t_{1t} - \text{średni czas uzyskania przyjętej diagnozy}$$

(tu: wielokrotność czasu testowania).

7.4. Zadanie laboratoryjne

Przeprowadzić badania wiarygodności diagnoz stanu obiektu posiadającego strukturę niezawodnościową jak na rysunku 7.2.

Polecenia wykonawcze

1. Uruchomić program *BND-2017*.
2. Ustawić wymagane wartości zmiennych modelu symulacyjnego (patrz tabele: 7.2. oraz 7.3.); wartość E_n może być dowolna.
3. Wykonać obliczenia używając przycisków *Start* lub *Restart*. Każde obliczenia powtórzyć przynajmniej trzykrotnie w celu oceny powtarzalności (stabilności) wyników symulacji.
4. Przeanalizować uzyskane wyniki, a niektóre z nich przepisać do tabel 7.2. oraz 7.3.
5. Uruchomić arkusz kalkulacyjny Excell i wykonać wykresy następujących zależności:
 $W_2(1) = f(Q_z); \quad W_2(12) = f(Q_z);$
 $W_2(1) = f(L_s); \quad W_2(12) = f(L_s)$
6. Opracować wnioski z ćwiczenia.

Tabela 7.2.

$$L_s=100 \quad R_e=0,8 \quad E_k=0,8 \quad E_o=0,99$$

$W_2(Q_z)$	L_t	Q_z			
		0,05	0,1	0,15	0,3
$W_2(1)$	1				
	3				
	10				
	25				
$W_2(12)$	1				
	3				
	10				
	25				

Tabela 7.3.

$$Q_z=0,05 \quad R_c=0,8 \quad E_k=0,8 \quad E_o=0,99$$

$W_2(L_s)$	L_t	L_s			
		1	10	100	500
$W_2(1)$	1				
	3				
	10				
	25				
$W_2(12)$	1				
	3				
	10				
	25				

7.5. Uwagi końcowe

W rezultacie wykonania ćwiczenia należy przedstawić sprawozdanie zawierające:

- wyniki pomiarów (tabele 7.2 i 7.3);
- wykresy zależności: $W_2(1) = f(Q_z)$; $W_2(12) = f(Q_z)$; $W_2(1) = f(L_s)$; $W_2(12) = f(L_s)$;
- wnioski z przeprowadzonych badań i dyskusji, zawierające m. in. ocenę niezawodności uzyskanych diagnoz.

Uwaga:

Przygotowanie do ćwiczenia powinno obejmować zapoznanie się z treścią rozdziału 5 (a zwłaszcza pkt.5.5) podręcznika: L. Będkowski, T. Dąbrowski „Podstawy eksploatacji, cz. 2. Podstawy niezawodności eksploatacyjnej”, Wyd. WAT 2006.

7.6. Pytania kontrolne

1. Jakie mogą być przyczyny niepewności diagnoz ?
2. W jaki sposób można zmniejszyć niepewność diagnoz ?
3. Jaki warunek powinien być spełniony aby można było uznać diagnozę za wystarczająco wiarygodną ?
4. Zdefiniować pojęcia: symptom, objaw, syndrom.
5. Wyjaśnić pojęcie: wiarygodność diagnozy.
6. Co to jest: diagnoza, proces diagnozowania, proces dozorowania ?
7. Wymienić ważniejsze wskaźniki opisujące niezawodność.
8. Podać przykłady aktywnego zwiększania niezawodności.
9. Zinterpretować pojęcie: prawdopodobieństwo warunkowe dwu zdarzeń.
10. Wyjaśnić różnicę między diagnozą skróconą a diagnozą rozwiniętą.