

## BADANIE SYMULACYJNE SKUTECZNOŚCI DIAGNOZOWANIA KOMPARACYJNEGO NA PRZYKŁADZIE SYSTEMU ALARMOWEGO

Tadeusz DĄBROWSKI

Instytut Systemów Elektronicznych, Wydział Elektroniki  
Wojskowa Akademia Techniczna, ul. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa,  
fax (22) 683 91 25, e-mail: [tdabrowski@wel.wat.edu.pl](mailto:tdabrowski@wel.wat.edu.pl)

### Streszczenie

Jednym z podstawowych wymagań stawianych procesom diagnozowania jest żądanie możliwie wysokiej wiarygodności formułowanych diagnoz. Wymaganie to ma szczególne znaczenie w przypadku diagnozowania urządzeń i systemów mających wpływ na bezpieczeństwo ludzi i/lub mienia o dużej wartości. Artykuł poświęcony jest prezentacji wyników symulacyjnych badań skuteczności diagnozowania (charakteryzowanej dwoma wskaźnikami: sprawnością diagnozowania i niezawodnością diagnoz) systemu alarmowego przy zastosowaniu tzw. diagnozowania komparacyjnego. Metoda ta, dzięki wielokrotnemu powtarzaniu testowania oraz wielopoziomowej komparacji symptomów i syndromu stanu, zapewnia – mimo wysokiego prawdopodobieństwa fałszywych wyników poszczególnych testów – wiarygodne diagnozy.

Słowa kluczowe: diagnozowanie, wiarygodność diagnozy, niepewność symptomu i syndromu.

### EFFICIENCY OF COMPARATIVE DIAGNOSING FOR AN ALARM SYSTEM – SIMULATION RESULTS

#### Summary

The key requirement for diagnosing processes is the demand of high authenticity of formulated diagnoses. This requirement is especially important in the case of devices and systems having an influence on man and possessions safety. The paper presents simulation results of diagnosing efficiency of an alarm system characterized by two coefficients: efficiency of diagnosing and reliability of diagnoses, obtained by the use of comparative diagnosing. Despite high probability of false results for individual tests this method provides reliable diagnoses accomplished by repetitive testing and multi-level comparison of symptoms and syndrome of state.

Key words: diagnosing, authenticity of diagnosis, uncertainty of symptom and syndrome.

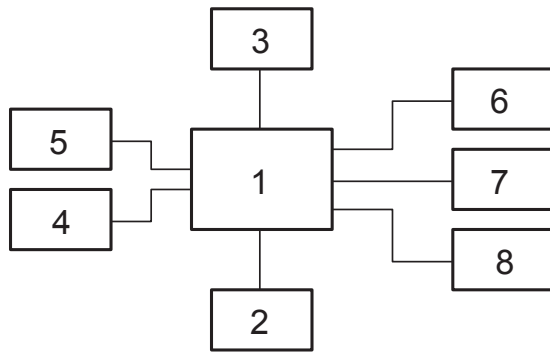
### 1. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

System alarmowy należy do kategorii systemów nazywanych zazwyczaj systemami bezpieczeństwa. Pod pojęciem systemu bezpieczeństwa rozumie się na ogół system wykrywania zagrożeń i przeciwdziałania destrukcyjnym procesom. Oddziaływanie na system bezpieczeństwa czynników inicjujących procesy destrukcyjne powinno wywołać jego określoną, pożądaną reakcję. Prawidłowe działanie systemu bezpieczeństwa zależy od wielu zmiennych (np. oddziaływań elektromagnetycznych, klimatycznych, mechanicznych, zasileniowych – a także od stanu technicznego poszczególnych elementów wchodzących w skład systemu). Sygnał wyjściowy systemu bezpieczeństwa powinien być dwustanowy: 0 – brak zagrożeń i system bezpieczeństwa jest zdalny, 1 – występują zagrożenia lub system jest niezdalny. Dlatego bardzo ważnym zagadnieniem w systemach bezpieczeństwa jest cykliczne diagnozowanie stanu

poszczególnych części składowych systemu (np. czujek, kamer, central alarmowych, układów zasilania) i dostarczanie informacji o ich stanie operatorowi systemu – w celu umożliwienia podjęcia, z możliwie małą zwłoką, niezbędnych decyzji użytkowych lub obsługowych.

W niniejszym artykule rozpatrywane jest zagadnienie sprawności diagnozowania i niezawodności diagnoz uzyskiwanych w wyniku testowania poszczególnych modułów systemu alarmowego (np. Systemu Sygnalizacji Włamania i Napadu – SSWiN).

System taki może posiadać różne struktury funkcjonalne i niezawodnościowe – w zależności m. in. od kategorii chronionego obiektu. Dla skonkretyzowania dalszych rozważań przyjmijmy modelową strukturę funkcjonalną SSWiN w postaci pokazanej na rys. 1.



Rys. 1. Przykładowa struktura funkcjonalna systemu alarmowego

Oznaczenia: 1 – centrala alarmowa; 2 – układ zasilania; 3 – manipulator szyfrowy; 4 – monitor (komputer) dozorowy; 5 – układ alarmowania (lokalnego i/lub zdalnego); 6 – czujka ruchu; 7 – czujka rozwarcia; 8 – czujka stłuczenia szyby

Przyjmijmy ponadto, że każdy z modułów funkcjonalnych stanowi zarazem moduł diagnostyczny – gdyż może być diagnozowany (testowany) indywidualnie, niezależnie od pozostałych modułów wchodzących w skład systemu.

Jak już wspomniano, wyniki diagnozowania poszczególnych modułów systemu zależą nie tylko od ich stanu technicznego ale także od różnorodnych oddziaływań środowiskowych (elektrycznych, elektromagnetycznych, temperaturowych, mechanicznych itp.) oraz od celowego działania obsługowego lub destrukcyjnego.

W tej sytuacji należy liczyć się zarówno ze stabilnymi jak i niestabilnymi symptomami stanu. Niezdatności techniczne modułów generują na ogół stabilne zmiany w sygnałach diagnostycznych, natomiast np. zakłócenia komunikacji pomiędzy poszczególnymi modułami systemu wywołane czynnikami atmosferycznymi mają z zasady charakter chwilowy, zanikający.

Niezawodne działanie systemu alarmowego polega m. in. na reagowaniu tylko na takie zmiany stanu systemu i jego otoczenia, które zagrażają bezpieczeństwu chronionego obiektu oraz na ignorowaniu chwilowych zakłóceń i przypadkowych destrukcyjnych oddziaływań.

Zadania realizowane przez systemy bezpieczeństwa i wymagane właściwości użytkowe tych systemów wymuszają stosowanie specyficznych metod pozyskiwania informacji o ich stanie. Pożądane jest testowanie poszczególnych modułów podczas ich funkcjonowania. Dopuszczalne są jedynie krótkie (np. milisekundowe) przerwy na realizację zadań diagnostycznych. Sygnały funkcjonalne i sygnały diagnostyczne nie powinny się wzajemnie zakłócać. Zalecane jest wykorzystywanie w celach diagnostycznych sygnałów funkcjonalnych.

Preferowane są metody cyklicznego diagnozowania (testowania).

Niniejsze opracowanie zawiera opis wyników badań metody diagnozowania z komparacją niepewnych symptomów i syndromów stanu [2] aplikowanej do modelowego systemu alarmowego.

## 2. WYMAGANIA METODY DIAGNOZOWANIA

Metoda diagnozowania z komparacją niepewnych symptomów i syndromów może być stosowana, gdy zachowane są m. in. następujące warunki:

1. Stany modułów są wzajemnie niezależne.
2. Stan obiektu jest stabilny tzn. nie zmienia się w czasie testowania oraz w czasie ewentualnego powtarzania testowania.
3. W procedurze diagnozowania testowane są wszystkie moduły, sygnał diagnostyczny każdego modułu mierzony jest indywidualnie.
4. Wynikiem testowania jest symptom stanu modułu, tor symptomu (tor testu) obejmuje tylko jeden moduł, tory różnych symptomów są rozłączne.
5. Symptom może przyjmować logiczną wartość 0 lub 1; symptom negatywny 0 jest symptomem charakterystycznym stanu niezdatności modułu, symptom pozytywny 1 jest symptomem charakterystycznym stanu zdatności modułu.
6. Zbiór symptomów stanowi syndrom stanu obiektu.
7. Fałszywy symptom determinuje fałszywy syndrom, a w konsekwencji fałszywą diagnozę.
8. Wyniki komparacji symptomów oraz wyniki komparacji syndromów są pewne.
9. Dokładna znajomość wartości prawdopodobieństwa a priori uzyskania prawdziwego wyniku testu nie jest wymagana – wystarczająca jest wiedza szacunkowa pozwalająca stwierdzić czy większe jest prawdopodobieństwo uzyskania prawdziwych czy też fałszywych symptomów.
10. Prawdopodobieństwa a priori zdatności poszczególnych modułów obiektu nie muszą być znane.

## 3. CHARAKTERYSTYKA REGUŁ WYBORU DIAGNOZ

W procesie diagnozowania z komparacją niepewnych symptomów i syndromu mogą być zastosowane różne reguły postępowania [2]. W omawianym przykładzie badania skuteczności diagnozowania systemu alarmowego zastosowano trzy reguły: SmW, SmP, SnP.

Reguła **SmW** to **symptomowa reguła większościowa**. Polega ona na realizowaniu nieparzystej liczby testów symptomowych każdego modułu i na wyznaczeniu wartości symptomów negatywnych oraz pozytywnych – aż do spełnienia warunku:

$$L_{i \min} : P_{wi}(\mathcal{E}_i^0) \neq P_{wi}(\mathcal{E}_i^1); \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

gdzie:  $P_{wi}$  – wartość symptomu – odpowiednio: negatywnego i pozytywnego;

$L_{i \min}$  – minimalna, niezbędna liczba testów i-tego modułu.

Dla tej liczby testów, dla każdego modułu, znajduje się większe wartości symptomów:

$$P_{wi}^* = \max[P_{wi}(\mathcal{E}_i^0), P_{wi}(\mathcal{E}_i^1)]; \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

i na ich podstawie wnioskuje się o stanie poszczególnych modułów.

Reguła **SmP** to **symptomowa reguła progowa**. Polega ona na realizowaniu testów symptomowych każdego modułu. Po zrealizowaniu każdego kolejnego testu oblicza się wartości symptomów negatywnych i pozytywnych oraz sprawdza czy spełniony jest warunek większościowy (1). Jeśli tak to wyznacza się wartość większą zgodnie z (2).

Następnie sprawdza się drugi warunek (progowy):

$$P_{wi}^* \geq P_{igr}; \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

gdzie:  $P_{igr}$  – graniczna wartość symptomu dla i-tego modułu.

Jeśli warunek (3) jest spełniony to testowanie określonego modułu uznaje się za zakończone a na podstawie uzyskanych wartości symptomów wnioskuje się o stanie tego modułu.

Reguła **SnP** to **syndromowa reguła progowa**. Polega ona na postępowaniu analogicznym jak w progowej regule symptomowej z tą jednak różnicą, że podstawą wnioskowania o stanie obiektu jest progowa wartość syndromu:

$$P_S(L) \geq P_{Sgr} \quad (4)$$

gdzie:  $P_S(L)$  – wartość syndromu dla zbioru testów o liczności  $L$ ;

$P_{Sgr}$  – graniczna wartość syndromu.

#### 4. CHARAKTERYSTYKA BADAŃ I UZYSKANYCH WYNIKÓW

Badaniom poddano system alarmowy o strukturze przedstawionej na Rys. 1. Podstawowym celem tych badań było wyznaczenie wartości następujących wskaźników [2]:

- **sprawności diagnozowania  $\eta_D$** ;
- **niezawodności przyjętych diagnoz  $R_D$** ;
- **niezawodności sesji diagnostycznych  $R_{SD}$** .

Wartości tych wskaźników zależą od długości sesji symptomowych (tzn. od liczby testów  $L_{Ti}$  realizowanych dla każdego modułu).

Przypomnijmy, że zgodnie z [2], **sprawnością diagnozowania** nazywamy prawdopodobieństwo tego, że uzyskana diagnoza spełnia

wiarygodnościowe wymagania użytkownika diagnozy. Oszacowaniem tego prawdopodobieństwa jest stosunek liczby diagnoz przyjętych (tzn. uznanych za prawdziwe) do liczby obserwowanych syndromowych sesji diagnostycznych:

$$\eta_D^* = \frac{L_{DP}}{L_{SD}} \quad (5)$$

gdzie:  $L_{DP}$  – liczba diagnoz przyjętych;  
 $L_{SD}$  – liczba syndromowych sesji diagnostycznych.

Podobnie, jak podano w [2], **niezawodnością przyjętych diagnoz** nazywamy prawdopodobieństwo tego, że przyjęta diagnoza okaże się rzeczywiście prawdziwa. Oszacowaniem tego prawdopodobieństwa jest stosunek liczby diagnoz, które w zbiorze diagnoz przyjętych okazały się rzeczywiście prawdziwe ( $L_{DC}$ ), do liczby diagnoz przyjętych ( $L_{DP}$ ):

$$R_D^* = \frac{L_{DC}}{L_{DP}} \quad (6)$$

Zauważmy, że niezawodność przyjętych diagnoz jest zarazem prawdopodobieństwem tego, że obiekt uznany (na podstawie diagnozy) za zdatny lub niezdatny okaże się rzeczywiście zdatny lub niezdatny.

Oszacowaniem **niezawodności sesji diagnostycznych** jest stosunek liczby diagnoz prawdziwych ( $L_{DC}$ ) do liczby obserwowanych sesji syndromowych ( $L_{SD}$ ):

$$R_{SD}^* = \frac{L_{DC}}{L_{SD}} \quad (7)$$

Dla uproszczenia badań i opisu wyników przyjęto, że długość sesji symptomowej (tzn. liczba testów modułu) jest taka sama dla każdego modułu, czyli:  $L_T = L_{Ti}$ ;  $i = 1, \dots, N$ .

Oszacowaniem **sprawności diagnozowania**, dla badanych reguł wyboru diagnozy, są następujące wyrażenia:

$$\eta_D^*(L_T; SmW) = \frac{L_{DP}(L_T; SmW)}{L_{SD}} 100\% = W_{1-1} \quad (8)$$

$$\eta_D^*(L_T; SmP) = \frac{L_{DP}(L_T; SmP)}{L_{SD}} 100\% = W_{2-1} \quad (9)$$

$$\eta_D^*(L_T; SnP) = \frac{L_{DP}(L_T; SnP)}{L_{SD}} 100\% = W_{3-1} \quad (10)$$

gdzie:  $L_{DP}(L_T; SmW)$ ;  $L_{DP}(L_T; SmP)$ ;

$L_{DP}(L_T; SnP)$  – liczba diagnoz przyjętych – odpowiednio dla reguł SmW, SmP, SnP.

Oszacowaniem **niezawodności przyjętych diagnoz**, dla rozpatrywanych reguł, są – z kolei – następujące wzory:

$$R_D^*(L_T; SmW) = \frac{L_{DC}(L_T; SmW)}{L_{DP}(L_T; SmW)} 100\% = W_{1-3} \quad (11)$$

$$R_D^*(L_T; SmP) = \frac{L_{DC}(L_T; SmP)}{L_{DP}(L_T; SmP)} 100\% = W_{2-3} \quad (12)$$

$$R_D^*(L_T; SnP) = \frac{L_{DC}(L_T; SnP)}{L_{DP}(L_T; SnP)} 100\% = W_{3-3} \quad (13)$$

gdzie:  $L_{DC}(L_T; SmW)$ ;  $L_{DC}(L_T; SmP)$ ;

$L_{DC}(L_T; SnP)$  – liczba diagnoz, które w zbiorze diagnoz przyjętych okazały się rzeczywiście prawdziwe – odpowiednio dla reguł SmW, SmP, SnP.

Wartość wskaźnika **niezawodności sesji diagnostycznych** wyznaczają następujące wyrażenia:

$$R_{SD}^*(L_T; SmW) = \frac{L_{DC}(L_T; SmW)}{L_{SD}} 100\% = W_{1-2} \quad (14)$$

$$R_{SD}^*(L_T; SmP) = \frac{L_{DC}(L_T; SmP)}{L_{SD}} 100\% = W_{2-2} \quad (15)$$

$$R_{SD}^*(L_T; SnP) = \frac{L_{DC}(L_T; SnP)}{L_{SD}} 100\% = W_{3-2} \quad (16)$$

W celu skonkretyzowania postępowania przyjęto, że minimalna, wymagana sprawność i niezawodność przyjętych diagnoz, dla badanych reguł wyboru diagnozy, wynosi:

$$\eta_{Dmin} = 92\%; \quad R_{Dmin} = 92\%$$

Obserwacjom poddano 200 syndromowych sesji diagnostycznych. Badania przeprowadzono na trzech diagnostycznie i niezawodnościowo różnych modelach systemu alarmowego (jako obiektu diagnozowania) o strukturze jak na rys. 1.

A. Pierwszy z badanych modeli charakteryzował się następującymi parametrami:

– prawdopodobieństwem a priori zdadności każdego z modułów:

$$R_{ei} = 0,5 \quad (i = 1, \dots, 8)$$

– prawdopodobieństwem jednokrotnego wystąpienia prawdziwego symptomu negatywnego:

$$R_{zi}(0|0) = 0,8 \quad (i = 1, \dots, 8)$$

– prawdopodobieństwem jednokrotnego wystąpienia prawdziwego symptomu pozytywnego:

$$R_{zi}(1|1) = 0,8 \quad (i = 1, \dots, 8)$$

– stanem obiektu opisanym w tab. 1.

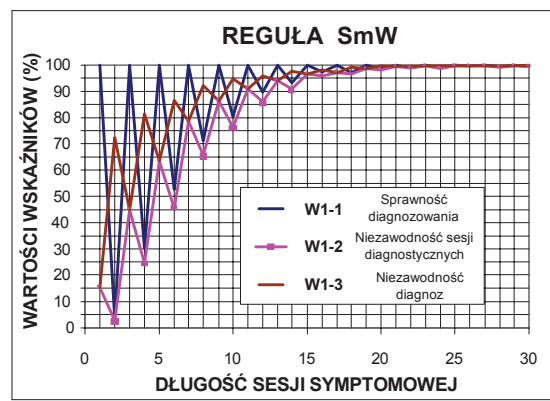
Tabela 1

Moduł	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>
Stan modułu	$\mathcal{E}_1^1$	$\mathcal{E}_2^1$	$\mathcal{E}_3^1$	$\mathcal{E}_4^0$	$\mathcal{E}_5^1$	$\mathcal{E}_6^1$	$\mathcal{E}_7^1$	$\mathcal{E}_8^1$

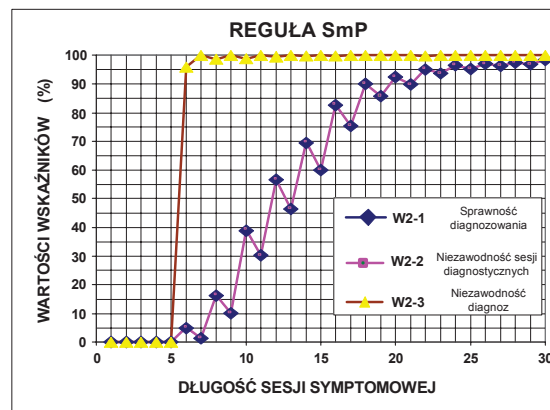
Jak wynika z porównania efektu badań (rys. 2÷4) wymagane wartości wskaźników sprawnościowych i niezawodnościowych uzyskano dla minimalnych długości sesji symptomowych (modułowych) podanych w tab.2.

Tabela 2

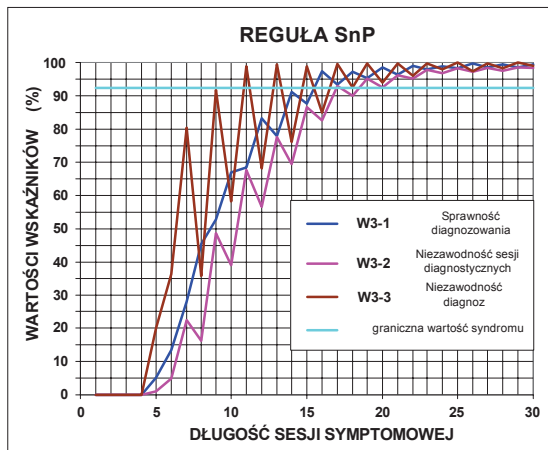
	SmW	SmP	SnP
dla $\eta_{Dmin}$	14	22	17
dla $R_{Dmin}$	12	6	18



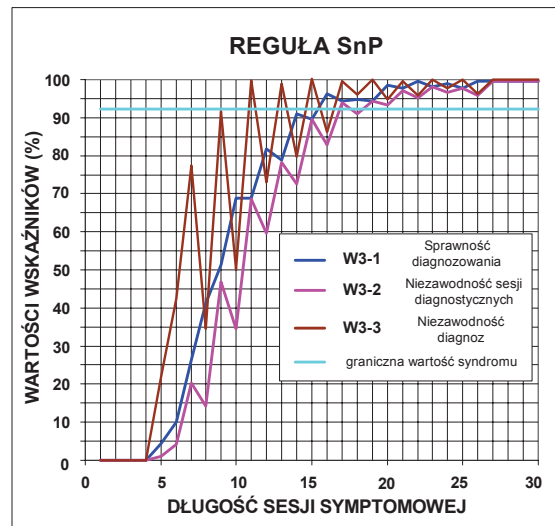
Rys. 2. Wyniki badania reguły SmW (model A)



Rys. 3. Wyniki badania reguły SmP (model A)



Rys. 4. Wyniki badania reguły SnP (model A)



Rys. 6. Wyniki badania reguły SnP (model B)

B. Drugi z badanych modeli obiektu charakteryzował się następującymi parametrami:

– prawdopodobieństwem a priori zdatości każdego z modułów:

$$R_{ei} = 0,5 \quad (i = 1, \dots, 8)$$

– prawdopodobieństwem jednokrotnego wystąpienia prawdziwego symptomu negatywnego:

$$R_{zi}(0|0) = 0,8 \quad (i = 1, \dots, 8)$$

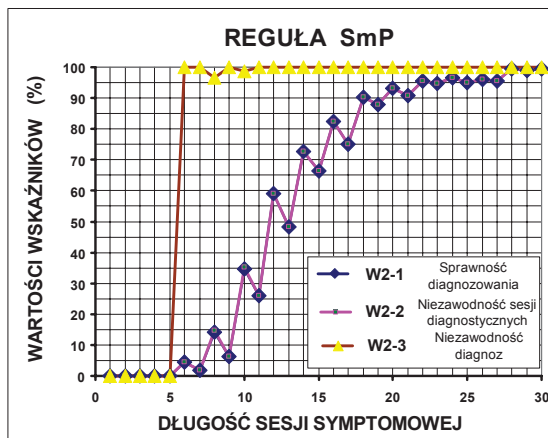
– prawdopodobieństwem jednokrotnego wystąpienia prawdziwego symptomu pozytywnego:

$$R_{zi}(1|1) = 0,8 \quad (i = 1, \dots, 8)$$

– stanem obiektu opisanym w tab.3.

Tabela 3

Moduł	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>
Stan modułu	$\mathcal{E}_1^1$	$\mathcal{E}_2^1$	$\mathcal{E}_3^1$	$\mathcal{E}_4^1$	$\mathcal{E}_5^1$	$\mathcal{E}_6^1$	$\mathcal{E}_7^1$	$\mathcal{E}_8^1$



Rys. 5. Wyniki badania reguły SmP (model B)

Jak wynika z badań wymagane wartości wskaźników sprawnościowych i niezawadnościowych uzyskano dla minimalnych długości sesji symptomowych podanych w tab.4.

Tabela 4

	SmW	SmP	SnP
dla $\eta_{Dmin}$	13	22	16
dla $R_{Dmin}$	14	6	19

C. Trzeci z badanych modeli obiektu charakteryzował się następującymi parametrami:

– prawdopodobieństwem a priori zdatości każdego z modułów:

$$R_{ei} = 0,9 \quad (i = 1, \dots, 8)$$

– prawdopodobieństwem jednokrotnego wystąpienia prawdziwego symptomu negatywnego:

$$R_{zi}(0|0) = 0,8 \quad (i = 1, \dots, 8)$$

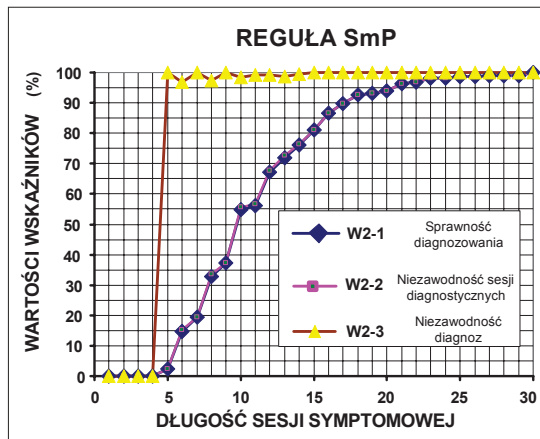
– prawdopodobieństwem jednokrotnego wystąpienia prawdziwego symptomu pozytywnego:

$$R_{zi}(1|1) = 0,8 \quad (i = 1, \dots, 8)$$

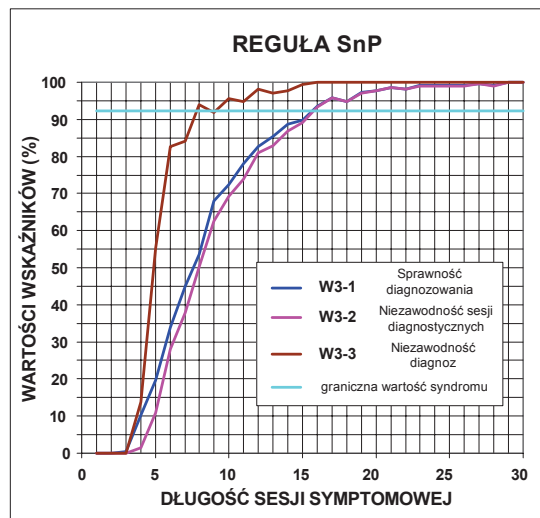
– stanem obiektu opisanym w tab. 5.

Tabela 5

Moduł	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>
Stan modułu	$\mathcal{E}_1^1$	$\mathcal{E}_2^1$	$\mathcal{E}_3^1$	$\mathcal{E}_4^0$	$\mathcal{E}_5^1$	$\mathcal{E}_6^1$	$\mathcal{E}_7^1$	$\mathcal{E}_8^1$



Rys. 7. Wyniki badania reguły SmP (model C)



Rys. 8. Wyniki badania reguły SnP (model C)

Uzyskane wyniki pokazują, że wymagane wartości wskaźników sprawnościowych i niezawadnościowych osiągnięto dla minimalnych długości sesji symptomowych podanych w tab.6.

Tabela 6

	SmW	SmP	SnP
dla $\eta_{Dmin}$	1	18	16
dla $R_{Dmin}$	10	5	10

## 5. WNIOSKI

Zauważmy, że dla pierwszego modelu (tzn. modelu A) obiektu:

- przy regule SmW spełnienie wymagań sprawnościowych możliwe jest przy długościach symptomowych sesji diagnostycznych nie mniejszych niż 14 testów (dla każdego modułu), a równocześnie spełnienie wymagań niezawadnościowych możliwe jest przy sesjach symptomowych o długościach nie mniejszych niż 12 testów;
- przy regule SmP spełnienie wymagań sprawnościowych możliwe jest przy długościach symptomowych sesji diagnostycznych nie mniejszych niż 22 testy (dla każdego

modułu), a równocześnie spełnienie wymagań niezawadnościowych możliwe jest przy sesjach symptomowych o długościach nie mniejszych niż 6 testów;

- przy regule SnP spełnienie wymagań sprawnościowych możliwe jest przy długościach symptomowych sesji diagnostycznych nie mniejszych niż 17 testów (dla każdego modułu), a równocześnie spełnienie wymagań niezawadnościowych możliwe jest przy sesjach symptomowych o długościach nie mniejszych niż 18 testów.

Zbliżone wyniki uzyskano w badaniach drugiego i trzeciego modelu.

Warto zauważyć, że zachodzi znaczne podobieństwo wyników przeprowadzonych badań mimo tego, że poszczególne modele różnią się wartością prawdopodobieństwa a priori zdadności modułów oraz zadanymi stanami obiektu.

Na podstawie uzyskanych rezultatów badań można sądzić, że w przypadku gdy ważna jest wysoka niezawadność diagnoz należy stosować regułę SmP. Z kolei w przypadku, gdy ważniejsza jest sprawność diagnozowania korzystnie jest stosować regułę SmW.

Wnioski te potwierdzają się dla różnych stanów obiektu i dla różnych wartości prawdopodobieństw a priori zdadności modułów.

## LITERATURA

- [1] Będkowski L., Dąbrowski T.: *Diagnozowanie na podstawie niepewnych syndromów stanu obiektu*. Diagnostyka, PTDT, Vol. 37, 2006, ss. 6.
- [2] Będkowski L.: *Diagnozowanie z dwupoziomą komparacją niepewnych symptomów i syndromu stanu obiektu*. Materiały Konferencji DIAG'2006, ss. 6.



Dr hab. inż. **Tadeusz DĄBROWSKI** jest zatrudniony na stanowisku profesora nadzwyczajnego i pełni funkcję dyrektora Instytutu Systemów Elektronicznych Wydziału Elektroniki WAT. Zainteresowania naukowe koncentruje w obszarze teorii eksploatacji – głównie na diagnostyce technicznej. Do ważniejszych zagadnień, którymi się zajmował i/lub zajmuje należą: diagnostyka systemów antropotechnicznych (w aspekcie użytkowym i bezpieczeństwa); optymalizacja procesów diagnostyczno-obslugowych; komputerowe wspomaganie procesu diagnostyczno-obslugowego.