

Jerzy FELIKS*, Katarzyna MAJEWSKA*

OCENA NIEZAWODNOŚCIOWEJ ISTOTNOŚCI ELEMENTÓW W SYSTEMIE LOGISTYCZNYM

Streszczenie

Ocena istotności elementów systemu z niezawodnościowego punktu widzenia jest ważna w wyznaczaniu kierunków i priorytetów działań podczas projektowania, a także użytkowania systemów logistycznych. W artykule przedstawiono metody oceny niezawodnościowej istotności elementów dla systemów nienaprawialnych i naprawialnych. Podano przykład zastosowania tej oceny w systemie logistycznym oraz wyniki symulacji dla systemu z poprawionymi charakterystykami niezawodnościowymi komponentów najbardziej istotnych. Pokazano, że wpływ zmian parametrów rozkładów czasów zdatności i obsługi na wskaźniki nieuszkodzalności i gotowości systemu jest znacznie większy w przypadku elementów uznanych za istotne niż tych, których współczynnik istotności jest mały.

Słowa kluczowe: systemy logistyczne, niezawodność systemów, systemy naprawialne, systemy nienaprawialne, niezawodnościowa istotność elementów, analiza wrażliwości.

1. WPROWADZENIE

W przypadku złożonych systemów logistycznych niezawodność i bezpieczeństwo ich działania jest jednym z ważniejszych problemów [2], [4], a znalezienie elementów krytycznych może w istotny sposób przyczynić się do efektywnego zarządzania procesami planowania, realizowania i kontrolowania przepływu materiałów i informacji. Jednym z zadań analizy niezawodnościowej jest ustalenie wpływu uszkodzeń poszczególnych komponentów na niezawodność całego systemu [1], [7]. W tym celu można wykorzystać tak zwaną „istotność niezawodnościową”, która, ogólnie rzecz ujmując, jest funkcją zależną od czasu działania, charakterystyk uszkodzalności i naprawialności oraz struktury systemu. Wskaźniki istotności mogą być obliczane w oparciu o schematy blokowe niezawodności i przyjmować różne postacie [1], [5], [8], [9]. Już w latach 30-tych i 40-tych XX wieku Joseph Juran spopularyzował zasadę Pareto. Jakkolwiek, nie zawsze można stosować zasadę dosłownie, to jest ona bardzo cenna w wielu dziedzinach, również w inżynierii niezawodności. W artykule pokazane zostanie, że istnieje niewielka liczba elementów istotnych powodujących większość niezdatności systemu.

Wraz z rozwojem nowych technologii, wzrostem stopnia skomplikowania systemów, możliwością napraw on-line, itp. modelowanie i analizowanie systemów oraz badanie różnych scenariuszy często jest możliwe tylko poprzez symulacje przy pomocy specjalistycznego oprogramowania [8]. W artykule przedstawiono pięć miar niezawodnościowej istotności oraz obliczenia trzech z nich dla elementów przykładowego systemu logistycznego, przy czym szczególnie w przypadku elementów podlegających naprawie skorzystano z oprogramowania firmy ReliaSoft.

* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Zarządzania

2. OCENA NIEZAWODNOŚCIOWEJ ISTOTNOŚCI ELEMENTÓW

Niezawodnościowa istotność elementów nienaprawialnych

Pojęcie istotności niezawodnościowej zostało wprowadzone pod koniec lat 60-tych przez Birnbauma. Podał on prosty, intuicyjny wzór na wskaźnik istotności w postaci [1], [3], [9]:

$$I_k^B(t) = \frac{\partial R_S(t)}{\partial R_k(t)} \quad (1)$$

przy czym I_k^B oznacza istotność k-tego komponentu, R_S oznacza nieuszkodzalność systemu, a R_k nieuszkodzalność komponentu. Wskaźnik Birnbauma nie zależy od charakterystyki nieuszkodzalności badanego komponentu, co jest jego wadą.

Inną metodą wyznaczania wpływu elementu na system może być zastosowanie miary istotności krytycznej, np. w postaci [9]:

$$I_k^C(t) = \frac{\partial R_S(t)}{\partial R_k(t)} \cdot \frac{(1 - R_k(t))}{(1 - R_S(t))} = I_k^B \cdot \frac{(1 - R_k(t))}{(1 - R_S(t))} \quad (2)$$

W tym przypadku istnieje zależność między istotnością elementu, a jego charakterystyką nieuszkodzalności i wskaźnik ten jest w wielu przypadkach bardziej miarodajny.

Niezawodnościowa istotność elementów naprawialnych

Aby skorzystać ze wzorów 1 lub 2 musimy znać analityczne relacje między nieuszkodzalnością systemu a nieuszkodzalnościami jego składowych. Nie zawsze jest to możliwe do osiągnięcia, szczególnie dla systemów złożonych. Również w przypadku systemów naprawialnych, w których istnieje wiele czynników mających wpływ na charakterystyki niezawodnościowe (czasy naprawy, rodzaj polityki remontowej, dostępność części zamiennych, itp.) stosowanie wskaźników I_k^B lub I_k^C mija się z celem. Coraz częściej konieczne jest przeprowadzenie symulacji z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania, a obliczenie wskaźnika istotności może wtedy zostać zrealizowane w oparciu o poniższą formułę [8], [9]:

$$I_k^S(t) = \frac{NoSF_k(0, t)}{NoSF(0, t)} \quad (3)$$

przy czym I_k^S oznacza istotność k-tego komponentu, $NoSF_k$ oznacza liczbę uszkodzeń systemu spowodowaną przez uszkodzenie elementu k (zdarzenie polegające na utracie zdolności obiektu do wypełniania wymaganych funkcji) w przedziale czasu (0, t), natomiast $NoSF$ całkowitą liczbę uszkodzeń systemu w przedziale czasu (0, t). Wskaźnik ten uwzględnia uszkodzenia, natomiast nie uwzględnia obsługi prewencyjnej. Alternatywnie można stosować wskaźnik [8], [9]:

$$I_k^S(t) = \frac{NoSF_k(0, t)}{NoCF_k(0, t)} \quad (4)$$

przy czym $NoSF_k$ oznacza, jak wyżej, liczbę uszkodzeń systemu spowodowaną przez uszkodzenie elementu k w przedziale czasu $(0, t)$, natomiast $NoCF_k$ całkowitą liczbę uszkodzeń elementu k w przedziale czasu $(0, t)$.

W celu uwzględniania przestojów (przerw w wypełnianiu wymaganych funkcji na skutek uszkodzenia lub działań obsługiwanego) spowodowanych różnym rodzajem obsługiwanego, w tym prewencyjnego możemy posłużyć się poniższą miarą [8], [9]:

$$I_k^{SD}(t) = \frac{NoDE_k(0, t)}{NoDE(0, t)} \quad (5)$$

przy czym $NoDE_k$ oznacza, liczbę przestojów systemu spowodowanych przestojem elementu k w przedziale czasu $(0, t)$, natomiast $NoDE$ całkowitą liczbę przestojów systemu w przedziale czasu $(0, t)$. $NoDE_k$ i $NoDE$ uwzględniają przestoje spowodowane zarówno niezdatnościami, jak i działaniami obsługiwanego korekcyjnego i prewencyjnego i w najpełniejszy sposób określa wpływ elementu na gotowość systemu.

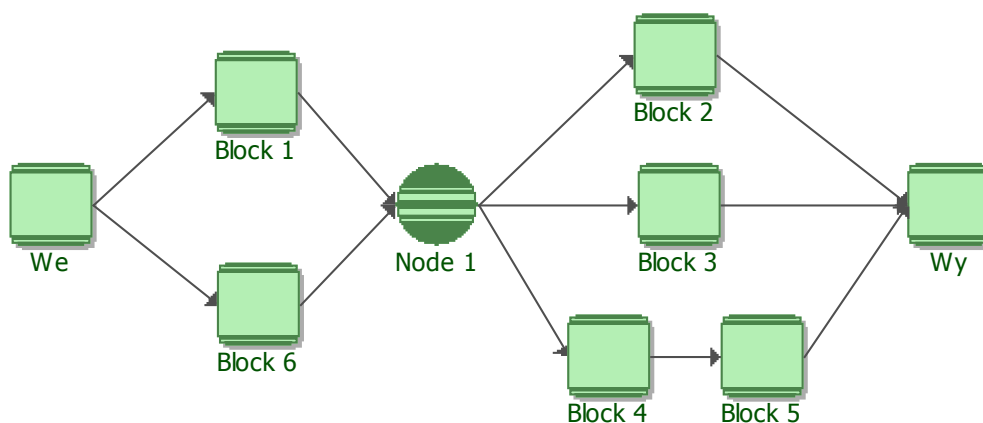
1. MODEL NIEZAWODNOŚCIOWY PEWNEGO SYSTEMU LOGISTYCZNEGO

Przykładowy uproszczony system logistyki zaopatrzenia o strukturze mieszanej (szeregowo-równoległej) przedstawia rysunek 1. Bloki 1 i 6 reprezentują podsystem przygotowania zamówienia, natomiast bloki 2, 3, 4 i 5 podsystem realizujący zamówienie.

Nieuszkodzalność badanego systemu wyznaczona w oparciu o RBD [6] wyraża formuła:

$$R_s = (R_1 + R_6 - R_1R_6)(R_2 + R_3 - R_2R_3 + R_4R_5 + R_2R_3R_4R_5 - R_2R_4R_5 - R_3R_4R_5) \quad (6)$$

przy czym R_s oznacza funkcję nieuszkodzalności systemu, natomiast R_i dla $i=1:6$ oznaczają funkcje nieuszkodzalności poszczególnych elementów systemu.



Rys. 1 Schemat blokowy niezawodności przykładowego systemu logistycznego

Przyjmując rozkłady czasów zdatności jak w tabeli 1 punktowe wartości nieuszkodzalności dla $t = 500$ jednostek czasu działania (np. godzin, dni, cykli pracy, ...) zawiera tabela 2.

Tabela 1 Przyjęte parametry rozkładów czasów działania elementów badanego systemu.

Element	Rozkład czasu zdatności	MTTF
Blok 1	Exponential m=1000	1000
Blok 2	Weibull b=3 a=1000	892
Blok 3	Weibull b=1,5 a=1000	902
Blok 4	Weibull b=2 a=1000	886
Blok 5	Weibull b=3 a=1000	892
Blok 6	Exponential m=1000	1000

Tabela 2 Wartości niezszkadzalności R dla t = 500 jednostek czasu działania

Element	Ri [%]
Blok 1	60,7
Blok 2	88,3
Blok 3	70,2
Blok 4	77,9
Blok 5	88,3
Blok 6	60,7
System	83,6

Jak widać z tabeli 2 dla t = 500 jednostek czasu najniższe wskaźniki niezszkadzalności mają elementy 1 i 6, natomiast najwyższe wskaźniki mają elementy 2 i 5. Przy małej liczbie elementów systemu i prostych strukturach już na podstawie samych wartości niezszkadzalności możemy wnioskować o istotności elementów. W przypadku jednak systemów bardziej rozbudowanych lub o strukturach progowych i mostkowych wnioskowanie na podstawie samych tylko wartości niezszkadzalności może być błędne.

Tabela 3 Parametry rozkładów czasów obsługi CM i PM dla elementów badanego systemu

Element	Rozkład czasu naprawy CM	Rozkład czasu naprawy PM	Przyjęta polityka PM
Blok 1	normalny $\mu = 2, \sigma = 0.5$	normalny $\mu = 1, \sigma = 0.2$	Co 800 zlecenia
Blok 2	normalny $\mu = 2, \sigma = 0.1$	Brak obsługi PM	Brak obsługi PM
Blok 3	normalny $\mu = 2.5, \sigma = 0.2$	normalny $\mu = 1, \sigma = 0.2$	Co 600 zleceń
Blok 4	normalny $\mu = 3, \sigma = 0.1$	normalny $\mu = 1, \sigma = 0.2$	Co 600 zleceń
Blok 5	normalny $\mu = 2, \sigma = 0.2$	Brak obsługi PM	Brak obsługi PM
Blok 6	normalny $\mu = 2 \sigma = 0.5$	normalny $\mu = 1, \sigma = 0.2$	Co 800 zlecenia

Tabela 4 Gotowość średnia elementów i systemu

Element	Średnia gotowość [%]
Blok 1	70
Blok 2	99
Blok 3	85
Blok 4	85
Blok 5	99
Blok 6	70
System	89

W tabeli 3 zestawiono przyjęte parametry charakterystyk czasów napraw dla obsługi korekcyjnego CM i prewencyjnego PM oraz rodzaje przyjętej polityki PM dla elementów badanego systemu. Założono, że naprawy korekcyjne dla elementów 2 i 5

dokonywane są zaraz po wystąpieniu uszkodzenia, natomiast dla pozostałych elementów przy najbliższej kontroli prewencyjnej. Wykorzystując metody Monte Carlo do symulacji działania systemu w oprogramowaniu Reliasoft BlockSim 6 wyznaczono średnią gotowość [6], [8] elementów oraz systemu dla $t = 3000$ jednostek czasu działania (tabela 4).

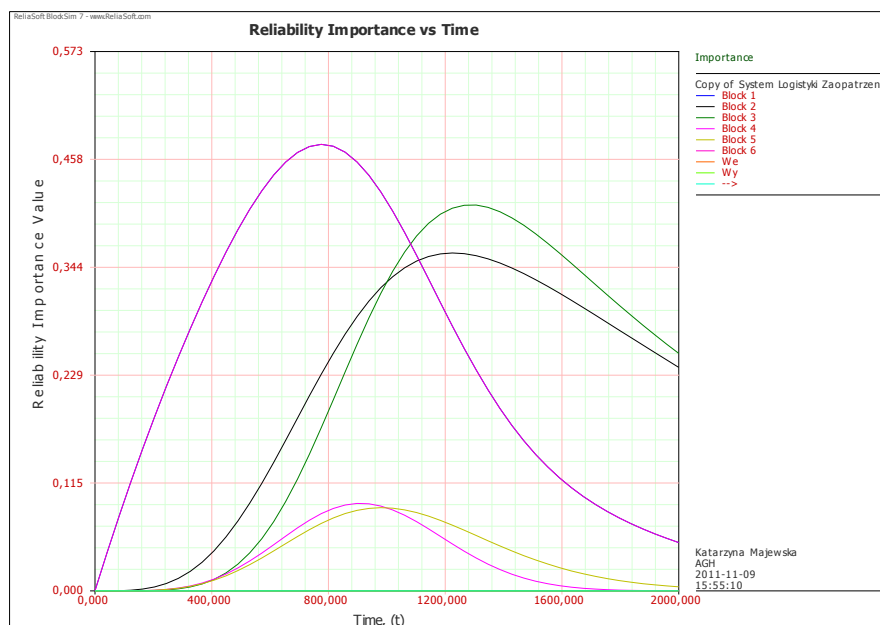
2. WYZNACZANIE ISTOTNOŚCI ELEMENTÓW W OPARCIU O SCHEMATY BLOKOWE NIEZAWODNOŚCI

Poniżej przedstawiono ocenę niezawodnościowej istotności elementów systemu przy założeniu, że komponenty są nienaprawialne oraz naprawialne.

Wyznaczanie istotności elementów nienaprawialnych

Stosując wzór (1) do wyznaczenia istotności niezawodnościowej elementów oraz wzór (6) na nieuszkodzalność badanego systemu otrzymujemy wskaźniki istotności poszczególnych elementów:

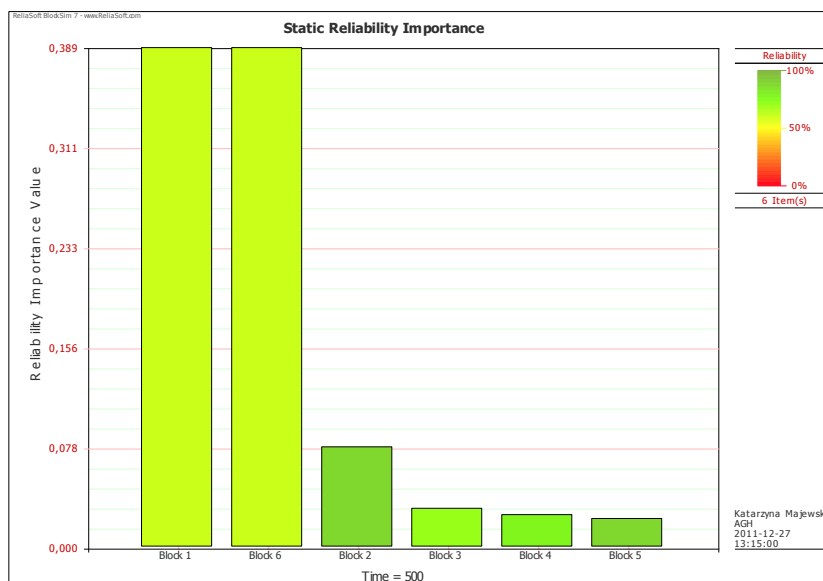
$$\begin{aligned}
 I_1^B &= (1 - R_6)(R_2 + R_3 - R_2R_3 + R_4R_5 + R_2R_3R_4R_5 - R_2R_4R_5 - R_3R_4R_5) \\
 I_2^B &= (R_1 + R_6 - R_1R_6)(1 - R_3 + R_3R_4R_5 - R_4R_5) \\
 I_3^B &= (R_1 + R_6 - R_1R_6)(1 - R_2 + R_2R_4R_5 - R_4R_5) \\
 I_4^B &= (R_1 + R_6 - R_1R_6)(R_5 + R_2R_3R_5 - R_2R_5 - R_3R_5) \\
 I_5^B &= (R_1 + R_6 - R_1R_6)(R_4 + R_2R_3R_4 - R_2R_4 - R_3R_4) \\
 I_6^B &= (1 - R_1)(R_2 + R_3 - R_2R_3 + R_4R_5 + R_2R_3R_4R_5 - R_2R_4R_5 - R_3R_4R_5)
 \end{aligned}
 \tag{7}$$



Rys. 2 Niezawodnościowa istotność elementów nienaprawialnych – zależności czasowe

Zakładając rozkłady dla czasów działania jak w tabeli 1 i podstawiając je do wzoru (7) możemy wyznaczyć istotność elementów jako funkcję czasu. Na rys. 2 przedstawiono wskaźnik istotności jako funkcję czasu dla wszystkich elementów, natomiast na rys. 3 tzw.

„istotność statyczną” dla konkretnej wartości $t = 500$ jednostek czasu działania. Istotności statyczne dla $t = 500$ jednostek czasu działania zebrano również w tabeli 5.



Rys. 3 Niezawodnościowa istotność elementów nienaprawialnych dla czasu $t = 500$ jednostek czasu działania

Tabela 5 Istotność elementów I_k^B

Element	I_k^B	udział [%]
Blok 1	0,389	41,5
Blok 2	0,079	8,4
Blok 3	0,031	3,3
Blok 4	0,026	2,8
Blok 5	0,023	2,5
Blok 6	0,389	41,5

Rysunek 3 i tabela 5 pokazują największy udział (83% istotności wszystkich elementów) bloków 1 i 6 (33% elementów) w odpowiedzialności za niezdatności systemu dla $t = 500$. Zaraz po nich plasuje się element 2, którego wartość niezawodności była maksymalna i mogłoby się wydawać, że element ten ma mały wpływ na niezawodność systemu.

Stosując wzór (2) do wyznaczenia istotności niezawodnościowej elementów oraz wzór (6) na niezawodność badanego systemu otrzymujemy formuły na istotność krytyczną:

$$I_1^C = I_1^B \cdot \frac{(1 - R_1)}{(1 - R_S)}$$

$$I_2^C = I_2^B \cdot \frac{(1 - R_2)}{(1 - R_S)}$$

$$I_3^C = I_3^B \cdot \frac{(1 - R_3)}{(1 - R_S)} \quad (8)$$

$$I_4^C = I_4^B \cdot \frac{(1 - R_4)}{(1 - R_S)}$$

$$I_5^C = I_5^B \cdot \frac{(1 - R_5)}{(1 - R_S)}$$

$$I_6^C = I_6^B \cdot \frac{(1 - R_6)}{(1 - R_S)}$$

przy czym I_k^B , dla $k = 1, 2, \dots, 6$ są opisane zależnością (7), a R_S formułą (6).

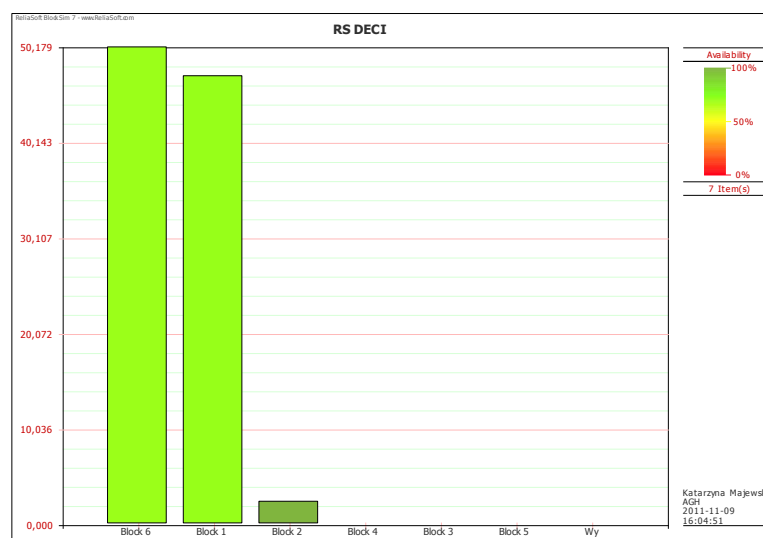
Wartości punktowe powyższych istotności dla $t = 500$ jednostek czasu działania zebrano w tabeli 6. Jak widać różnią się one od tych, które są zamieszczone w tabeli 3, jednak zmiany te nie wpływają na kolejność elementów krytycznych. I w tym przypadku elementy 1 i 6 są najbardziej istotne z niezawodnościowego punktu widzenia i stanowią aż 92% udziału w istotności niezawodnościowej wszystkich elementów.

Tabela 6 Istotność elementów I_k^C

Element	I_k^C	udział [%]
Blok 1	0,934	46,0
Blok 2	0,056	2,8
Blok 3	0,056	2,8
Blok 4	0,035	1,7
Blok 5	0,016	0,8
Blok 6	0,934	46,0

Wyznaczanie istotności elementów naprawialnych

Poniżej przedstawiono wskaźniki istotności elementów naprawialnych badanego systemu wg wzoru (5). Wyniki symulacji przedstawiono na rysunku 4 oraz w tabeli 7. W tym przypadku również bloki 1 i 6 odgrywają największą rolę i stanowią o aż 97,4% niezdatności systemu. Należy więc skupić się głównie na poprawie ich parametrów obsługiwanego. Widać również, że element 2, którego gotowość wynosiła 99% jest bardziej istotny niż elementy 3 i 4, których gotowość wynosiła 85%.



Rys. 4 Niezawodnościowa istotność elementów naprawialnych dla $t = 3000$ jednostek czasu działania

Tabela 7 Istotność elementów I_k^{SD}

Element	udział [%]
Blok 1	47,23
Blok 2	2,38
Blok 3	0,05
Blok 4	0,14
Blok 5	0,02
Blok 6	50,18

3. WYKORZYSTANIE WSKAŹNIKÓW NIEZAWODNOŚCIOWEJ ISTOTNOŚCI ELEMENTÓW DO POPRAWY WSKAŹNIKÓW NIEZAWODNOŚCI SYSTEMU

Na podstawie wskaźnika istotności można wyciągnąć wnioski co do działań mogących się przyczynić do zwiększenia niezawodności systemu poprzez poprawę odpowiednich parametrów elementów najbardziej istotnych. Może to być np. poprawa wskaźników nieuszkodzalności lub zmiana polityki remontowej.

Obliczenia po zmianie parametrów nieuszkodzalności

Elementy 1 i 6, które są elementami najbardziej istotnymi w przypadku braku uwzględnienia obsługi, mają najgorsze charakterystyki nieuszkodzalności. Zmiana tych charakterystyk powinna w największym stopniu prowadzić do zwiększenia nieuszkodzalności całego systemu. W tabeli 8 przedstawiono wartości nieuszkodzalności poszczególnych elementów i całego systemu po zmianie średniego czasu do uszkodzenia bloków 1 i 6 ze 100 na 200 pozostawiając wartości średniego czasu do uszkodzenia pozostałych elementów systemu bez zmian.

Tabela 8 Wpływ zmiany charakterystyk nieuszkodzalności elementów istotnych (1 i 6) na nieuszkodzalność systemu.

Element	Ri [%]
Blok 1	77,9
Blok 2	88,2
Blok 3	70,2
Blok 4	77,9
Blok 5	88,2
Blok 6	77,9
System	94,1

Tabela 9 Wpływ zmiany charakterystyk nieuszkodzalności elementów nieistotnych (2 do 5) na nieuszkodzalność systemu.

Element	Ri [%]
Blok 1	60,7
Blok 2	98,5
Blok 3	88,2
Blok 4	94,0
Blok 5	98,5
Blok 6	60,7
System	84,5

W tabeli 9 przedstawiono z kolei wartości nieuszkodzalności poszczególnych elementów i całego systemu po około dwukrotnym zwiększeniu średniego czasu do uszkodzenia bloków od 2 do 5, pozostawiając wartości średniego czasu do uszkodzenia elementów 1 i 6 bez zmian. Jak widać zmiany parametrów w przypadku elementów 1-6 spowodowały zmianę nieuszkodzalności systemu z 83,5% (tabela 2) do 94,1%, a zmiany parametrów dla elementów 2-5 spowodowały niemalże niezauważalną zmianę nieuszkodzalności systemu z 83,5% do 84,5%.

Symulacje po zmianie parametrów obsługiwalności

Zmiana częstotliwości obsługiwanego PM dla elementów najbardziej istotnych, czyli 1 i 6, z co 800 na co 500 jednostek czasu działania, bez zmiany średnich czasów napraw pociąga za sobą zmianę gotowości systemu z 89% na 94% (tabela 10). Zmiany częstotliwości dokonywania napraw prewencyjnych dla elementów 3 i 4 z co 600 na co 500 jednostek czasu działania nie powodują polepszenia wskaźnika średniej gotowości, a wręcz nieznacznie go pogarszają (z 89% do 88% - tabela 11). Korzystne natomiast jest ustalenie częstotliwości obsługiwanego prewencyjnego na poziomie co 500 jednostek czasu działania dla wszystkich elementów. Powoduje to dodatkowy wzrost o 2 % średniej gotowości systemu do poziomu 96%.

Tabela 10 Wartości średniej gotowości elementów i systemu po zmianie częstotliwości obsługiwanego PM elementów 1 i 6

Element	Średnia gotowość [%]
Blok 1	78,2
Blok 2	99,8
Blok 3	84,4
Blok 4	85,1
Blok 5	99,8
Blok 6	78,5
System	93,9

Tabela 11 Wartości średniej gotowości elementów i systemu po zmianie częstotliwości obsługiwanego PM elementów 3 i 4

Element	Średnia gotowość [%]
Blok 1	70,4
Blok 2	99,8
Blok 3	88,4
Blok 4	89,4
Blok 5	99,8
Blok 6	69,0
System	88,3

Należy jednak pamiętać, że stosowanie zbyt częstego obsługiwanego prewencyjnego może zwiększyć czas przestoju oraz koszty utrzymania i w niektórych przypadkach, szczególnie dla elementów mało istotnych, może nie mieć podstaw.

Elementy 3 i 4, które są elementami mało istotnymi, mają najdłuższe czasy naprawy korekcyjnej. Jednak zmniejszenie ich czasów obsługiwanego korekcyjnego o połowę, bez zmiany parametrów obsługiwanego innych elementów, nie spowodowało zmiany gotowości systemu.

4. PODSUMOWANIE

Klasyczne miary niezawodnościowej istotności elementów zostały wprowadzone od lat 60-tych XX wieku i miały zastosowanie do systemów nienaprawialnych z niezależnymi elementami, których charakterystyki nieuszkodzalności są znane. W miarę rozwoju techniki, wzrostu niezawodności obiektów, nowoczesnych metod ich obsługi, itp. miary te rzadko kiedy można wykorzystać w praktyce. Obecnie dla systemów naprawialnych stosuje się metody symulacyjne. W artykule przedstawiono przykład zastosowania analitycznych i symulacyjnych metod do oceny niezawodnościowej istotności elementów w systemach logistycznych. Pokazane przykłady odzwierciedlają zasadę mówiącą, że mała liczba elementów ma wpływ na większość niezdatności w systemie. Pokazują również, że zmieniając wskaźniki nieuszkodzalności, bądź obsługiwalności elementów najbardziej istotnych można efektywnie poprawić niezawodność systemu.

LITERATURA

- [1] Brinbaum Z. W., *On the Importance of Different Components in a Multicomponent System*, Multivariate Analysis II, Edited by P. R. Krishnaiah, Academic Press, 1969
- [2] Bukowski L., *Bezpieczeństwo i niezawodność systemów logistycznych*, *Total Logistic Management- materiały VI Konferencji Logistyki Stosowanej, WWZPCZ, Częstochowa 2002*
- [3] Espiritu J. F., Coit D. W., Prakash U., *Component criticality importance measures for power industry*, *Electric power system Research*, 77(5-6), 2007
- [4] Feliks Jerzy, Lichota Adam: *Wybrane zagadnienia analizy niezawodności systemów logistycznych*, *Wybrane Zagadnienia Logistyki Stosowanej*, Kraków 2006, s. 33-39.
- [5] Fussell J., *How to calculate system reliability and safety characteristics*, *IEEE Transaction on Reliability*, 24(2), 1975
- [6] Kececioglu D., *Reliability engineering handbook*, v.2, Prentice Hall PTR Englewood Cliffs, New Jersey 1991
- [7] Leemis, L.M. *Reliability - Probabilistic Models and Statistical Methods*, Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1995.
- [8] ReliaSoft Corporation, *BlockSim 7 Users Guide*, Tucson, AZ: ReliaSoft Publishing, 2007.
- [9] Wang, W., Loman, J., Vassiliou, P., *Reliability Importance of Components in a Complex System*, *Proceedings of the Annual Reliability & Maintainability Symposium*, Los Angeles, 2004.

EVALUATION OF RELIABILITY IMPORTANCE OF COMPONENTS IN LOGISTIC SYSTEMS

Abstract

Papers deals with reliability importance evaluation with simulation and analytically. Methods for repairable and non-repairable components were presented. An example of application of different reliability importance indexes in a simple logistic system was given. The influence of dependability parameter changes of most important components on system reliability and availability were shown. Furthermore short comparison with influence on reliability and availability of not important components was made.

Key words: logistic system, system reliability, repairable components, non-repairable components, reliability importance, sensitivity analysis