

Inż. Małgorzata MROZEK
Dr inż. Grzegorz SAWICKI
Wojskowa Akademia Techniczna

DOI: 10.17814/mechanik.2015.7.274

MODELOWANIE NIEZAWODNOŚCI SYSTEMU SYGNALIZACJI WŁAMANIA I NAPADU

Streszczenie: W artykule omówiono zastosowanie oprogramowania ITEM ToolKit do modelowania niezawodności systemu sygnalizacji włamania i napadu. Zaprezentowano model chronionego obiektu. Opracowano struktury niezawodnościowe systemu dla scenariuszy działania intruza. Pozyskano dane eksploatacyjne. Wyznaczono wskaźniki niezawodności systemu. Wskazano elementy newralgiczne z punktu widzenia niezawodności.

DEPENDABILITY MODELING OF INTRUSION DETECTION SYSTEM

Abstract: The article discusses the application of the ITEM ToolKit software to dependability modeling of intrusion detection system. Presents model of protected object. Shows how to develop reliability structures for activities of intruder. Presents the exploitation's data and dependability indicators for system. Discusses sensitive elements of system.

Słowa kluczowe: niezawodność, modelowanie, system sygnalizacji włamania i napadu
Keywords: dependability, modeling, intrusion detection system

1. WPROWADZENIE

Poczucie bezpieczeństwa jest w obecnych czasach jedną z głównych potrzeb człowieka. Niezależnie od tego czy dotyczy to bezpieczeństwa indywidualnego czy zbiorowego, osób czy przedmiotów, oczekuje on stworzenia warunków zapewniających komfort funkcjonowania w otaczającej rzeczywistości.

Charakter mogących wystąpić zagrożeń uzależniony jest zarówno od specyfiki działalności człowieka, jak i od otoczenia, w którym jest ona prowadzona. Bardzo często są to budynki i pomieszczenia zamknięte. Ochronie powinni wówczas podlegać przebywający w nich ludzie oraz zgromadzone tam zasoby.

W tym celu jednym z możliwych do zastosowania rozwiązań jest system sygnalizacji włamania i napadu (SSWiN), jako czynnik zapewnienia bezpieczeństwa technicznego. Podstawowym jego zadaniem jest wczesne i skuteczne wykrycie zagrożenia, w tym pojawienia się intruza. W następstwie zadziałania SSWiN powinien być wszczęty alarm i zawiadomiony użytkownik lub właściciel lokalu oraz poinformowane odpowiednie służby w celu podjęcia interwencji.

Od SSWiN wymaga się wysokiej skuteczności detekcji sytuacji niepożądanych oraz niezawodnego działania. Wpływ na to mają przede wszystkim: specyfika ochranianego obiektu i jego lokalizacja przestrzenna, projekt rozmieszczenia elementów SSWiN oraz warunki ich pracy.

Niezawodność [3] w znaczącym stopniu decyduje o możliwości wykorzystania systemu. Użytkownik zainteresowany jest rozwiązaniem charakteryzującym się dużą trwałością oraz przyjaznym w obsłudze. Oczekuje on od SSWiN zarówno zdolności do wypełniania wymaganych funkcji w danych warunkach i w danym przedziale czasu, jak też przystosowania do szybkiego odnowienia w przypadku całkowitej lub częściowej utraty właściwości użytkowych. Dlatego niezwykle istotne jest określenie właściwości niezawodnościowych SSWiN.

2. MODEL CHRONIONEGO OBIEKTU

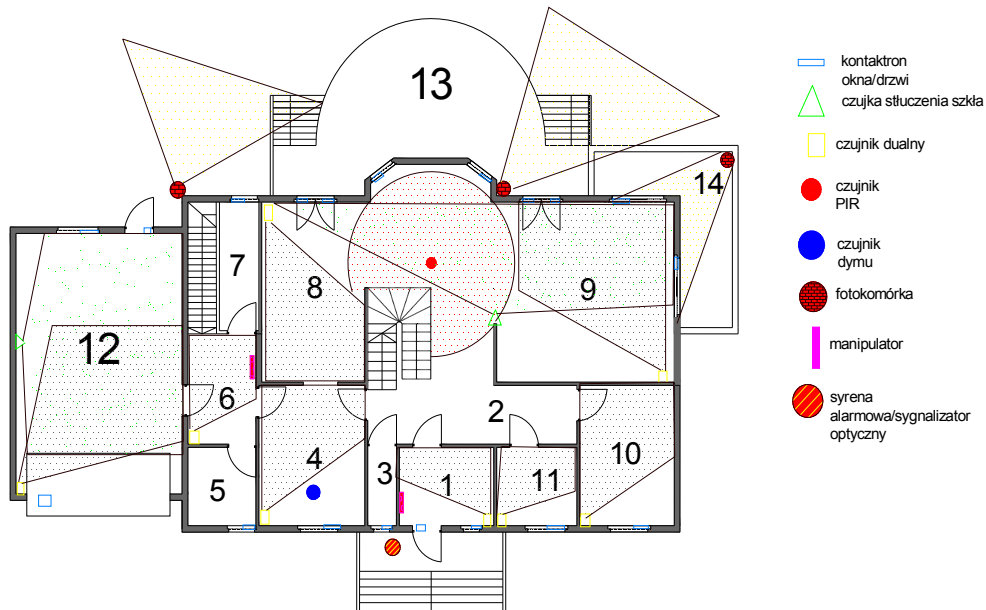
Przyjęto założenie, że przedmiotem ochrony jest dom jednorodzinny dwupoziomowy wraz z podpiwniczeniem. Opracowany model tego obiektu poddano analizie z punktu widzenia możliwych zagrożeń wpływających na bezpieczeństwo przebywających w nim osób [2]. Ze względu na charakter obiektu rozważano incydenty związane z wtargnięciem intruza do obiektu, akty wandalizmu, zaburzenia w pracy SSWiN spowodowane m.in. warunkami atmosferycznymi oraz niewłaściwym obsługiwaniem przez użytkowników.

W [2] rozważano różne scenariusze działania ewentualnego intruza. Po zidentyfikowaniu zagrożeń dokonano analizy ryzyka i określono różne jego poziomy zgodnie z klasyfikacją uwzględniającą prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożeń oraz rodzaje i zakres powodowanych szkód. Na tej podstawie dokonano doboru i zaproponowano rozmieszczenie poszczególnych elementów detekcyjnych SSWiN oraz elementów powiadamiania i zasilania w rozważanym obiekcie. Uwzględniono przy tym potrzeby i preferencje użytkownika oraz możliwości współpracy z odpowiednimi służbami interwencyjnymi.

Przykładowy schemat rozmieszczenia elementów SSWiN na jednym z poziomów obiektu, parterze, przedstawiono na rys. 1.

Numerami na rys. 1 oznaczono poszczególne pomieszczenia na parterze rozważanego obiektu.

Na podstawie wymagań i schematów funkcjonalnych opracowano struktury niezawodnościowe SSWiN dla poszczególnych scenariuszy działania ewentualnego intruza. Pozwoliło to na zidentyfikowanie elementów przynależnych do poszczególnych struktur oraz podjęcie działań w celu wyznaczenia charakterystyk niezawodnościowych.



Rys. 1. Schemat rozmieszczenia elementów SSWiN na parterze obiektu. Opracowanie własne

3. WSKAŹNIKI NIEZAWODNOŚCI

Do prognozowania właściwości niezawodnościowych [5] wykorzystuje się metody analityczne bądź empiryczne. Wyniki uzyskane metodami analitycznymi są o tyle wiarygodne, o ile uda się uwzględnić możliwie największą liczbę czynników wpływających na niezawodność elementów oraz wzajemne powiązania między nimi. W praktyce powszechne jest odwoływanie się do wyników obserwacji procesu eksploatacji obiektów (urządzeń, elementów) wcześniejszej wersji lub podobnej klasy. Pozyskuje się dane niezawodnościowe z ich wykorzystania w rzeczywistych warunkach [6].

W celu określenia właściwości niezawodnościowych rozważanego SSWiN pozyskano dane z eksploatacji podobnej klasy elementów [2]. Na tej podstawie wyznaczono intensywności ich uszkodzeń. Przyjęto przy tym założenie o pracy w ustalonych warunkach eksploatacji oraz założono, że niezawodność systemu jest głównie funkcją czasu. Jako charakterystyczną właściwość niezawodnościową przyjęto czas do uszkodzenia.

Elementy SSWiN potraktowano jako nieodnawialne o przypadkowym mechanizmie uszkodzeń, czyli ich intensywność uszkodzeń uznano za stałą w całym przedziale pracy $(0, t)$: $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$. Ze względu na potrzebę dokonywania przeglądów sprawności SSWiN, a w przypadku wykrycia niezdatności wykonania działań diagnostycznych, napraw czy częściowej lub całkowitej wymiany elementów elektronicznych, system zaliczono do klasy odnawialnych [4].

Na podstawie pozyskanych danych eksploatacyjnych oszacowano intensywność uszkodzeń elementów SSWiN oraz wyznaczono wartość funkcji niezawodności $R(t)$ i zawodności $Q(t)$ dla przyjętego jednego roku pracy ($t = 8760$ h). Dane oraz obliczone prawdopodobieństwa zawarto w tabeli 1.

Tabela 1. Wartości funkcji niezawodności $R(t)$ i zawodności $Q(t)$ elementów SSWiN.
Opracowanie własne na podstawie [2]

Wyszczególnienie elementów SSWiN	Szacowana intensywność uszkodzeń [1/h]	$Q(t)$	$R(t)$
Centrale alarmowe	$3 \cdot 10^{-6}$	0,0259	0,9741
Czujniki dualne	$1 \cdot 10^{-5}$	0,0839	0,9161
Czujniki wewnętrzne mikrofalowe	$1 \cdot 10^{-5}$	0,0839	0,9161
Czujniki wewnętrzne podczerwieni	$1 \cdot 10^{-5}$	0,0839	0,9161
Akumulatory	$6 \cdot 10^{-6}$	0,0512	0,9488
Manipulatory	$6 \cdot 10^{-6}$	0,0512	0,9488
Dialery telefoniczne	$3 \cdot 10^{-6}$	0,0259	0,9741
Nadajniki radiowe/moduł GSM	$8 \cdot 10^{-6}$	0,0677	0,9323
Odbiorniki radiowe	$8 \cdot 10^{-6}$	0,0677	0,9323
Przyciski napadowe	$2 \cdot 10^{-5}$	0,1607	0,8393
Sygnalizatory wewnętrzne	$2 \cdot 10^{-6}$	0,0174	0,9826
Sygnalizatory zewnętrzne	$6 \cdot 10^{-6}$	0,0512	0,9488
Zasilacze/UPS	$3 \cdot 10^{-6}$	0,0259	0,9741
Fotokomórki	$2 \cdot 10^{-6}$	0,0174	0,9826
Czujniki stłuczenia szkła	$1 \cdot 10^{-5}$	0,0839	0,9161
Ekspandery	$4,5 \cdot 10^{-6}$	0,0387	0,9613
Kontaktrony	$2 \cdot 10^{-5}$	0,1607	0,8393
Czujniki p. poż.	$9 \cdot 10^{-6}$	0,0758	0,9242
Przyciski dostępu	$2 \cdot 10^{-5}$	0,1607	0,8393

Do wyznaczenia wskaźników niezawodności SSWiN wykorzystano specjalistyczne oprogramowanie ITEM ToolKit [1].

Przy pomocy pakietu ITEM ToolKit można w dogodny sposób wyznaczyć pożądane wskaźniki niezawodności. Wykorzystuje się w tym celu informacje o postaci funkcyjnej rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej losowej opisującej czas do uszkodzenia oraz podstawowych jej parametrach.

Do modelowania niezawodności rozważanego SSWiN wykorzystano następujące wskaźniki niezawodności:

– Średni czas naprawy (MTTR – Mean Time To Repair)

Średni czas naprawy jest zdefiniowany jako łączny czas napraw podzielony przez liczbę napraw:

$$MTTR = \frac{TDT}{W(0,t)} = MTBF - MTF \quad (1)$$

$MTTR$ – średni czas naprawy,

TDT – sumaryczny czas trwania napraw,

$W(0,t)$ – wartość oczekiwana liczby uszkodzeń w przedziale czasu $(0, t)$, przy założeniu, że w chwili $t = 0$ element był sprawny,

$MTBF$ – średni czas pomiędzy uszkodzeniami. Wartość oczekiwana czasu pomiędzy dwoma kolejnymi uszkodzeniami,

MTF – średni czas do uszkodzenia.

– Średni czas pomiędzy uszkodzeniami (MTBF – Mean Time Between Failures)

MTBF obliczany jest jako odwrotność intensywności uszkodzeń systemu:

$$MTBF = \frac{1}{MTTR} \left[\frac{1}{h} \right] \quad (2)$$

MTBF wyznaczany jest również w przypadku systemów zawierających zarówno elementy naprawialne, jak i nienaprawialne:

$$MTBF = MTTF + MTTR \quad (3)$$

– Średni czas do uszkodzenia (MTTF – Mean Time To Failure)

MTTF jest podstawową miarą niezawodności systemów nienaprawialnych. Jest to wartość oczekiwana czasu do pierwszego uszkodzenia. Dla systemów ze stałą intensywnością uszkodzeń, czyli elementów opisywanych rozkładem wykładniczym MTTF jest odwrotnością intensywności uszkodzeń:

$$\lambda = \frac{1}{MTTF} \left[\frac{1}{h} \right] \quad (4)$$

Wówczas średni czas do uszkodzenia można wyznaczyć jako:

$$MTTF = MTBF - MTTR \quad (5)$$

– Łączny czas pozostawania systemu w niegotowości w okresie użytkowania systemu (TDT – Total Down Time). Oznacza czas, w którym system nie spełnia swoich funkcji częściowo lub w całości. Odnosi się do użytkowania systemu w określonych podczas analizy warunkach eksploatacyjnych.

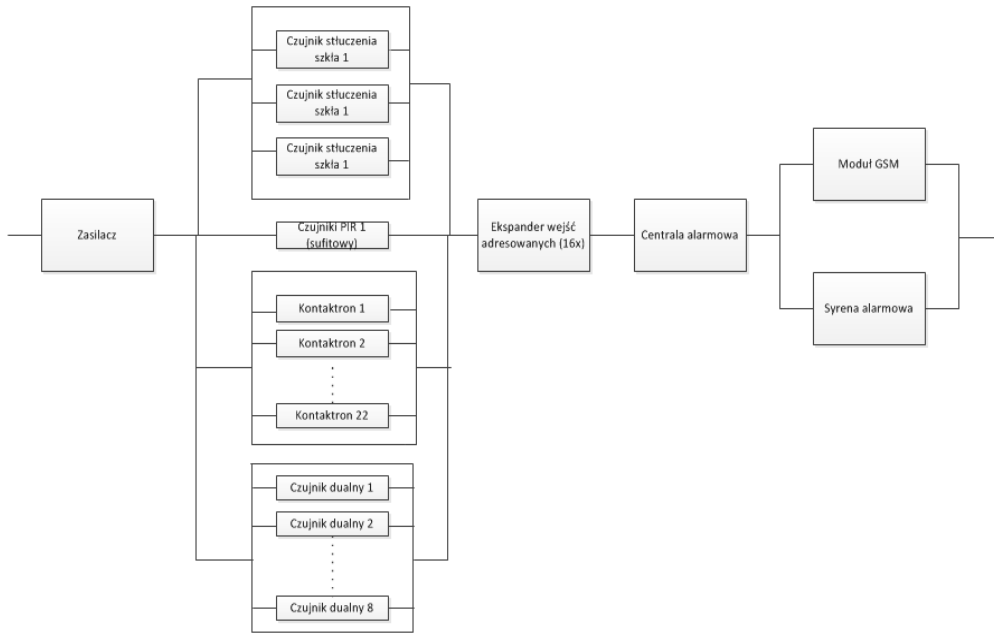
Oszacowana na podstawie danych empirycznych intensywność uszkodzeń elementów umożliwi scharakteryzowanie właściwości niezawodnościowych SSWiN, określenie wskaźników nieuszkodzalności i obsługiwalności.

4. STRUKTURA NIEZAWODNOŚCIOWA

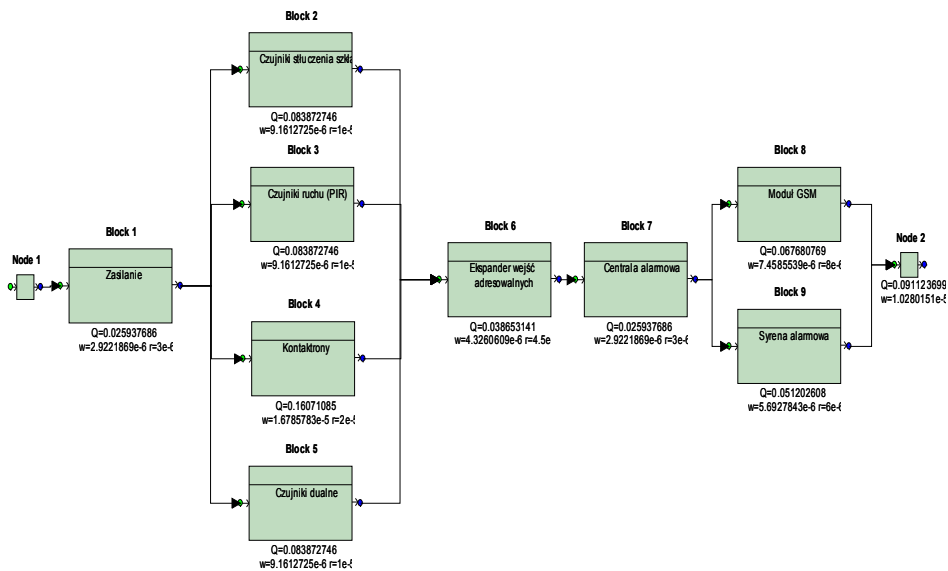
W celu opracowania struktur niezawodnościowych rozważono możliwe scenariusze zdarzeń niepożądanych w chronionym obiekcie [2]. Analizowano hipotetyczne sposoby działania intruza, jego zachowania oraz przemieszczania się na poszczególnych kondygnacjach. Rozpatrywano konfiguracje elementów SSWiN z uwzględnieniem pełnionych przez nie funkcji ochrony obiektu. Na tej podstawie określono struktury funkcjonalne oraz niezawodnościowe zawierające elementy detekcyjne i sterujące pracą systemu.

Strukturę niezawodnościową SSWiN dla jednego ze zidentyfikowanych scenariuszy zdarzeń, nazwanego „wtargnięcie intruza na parter obiektu”, przedstawiono na rys. 2.

Na rys. 3 przedstawiono strukturę niezawodnościową opracowaną z wykorzystaniem modułu RBD w programie ITEM ToolKit dla elementów detekcji na parterze chronionego obiektu. Na rys. 4 przedstawiono przykładowe wyniki obliczeń wskaźników niezawodności uzyskane w rezultacie przeprowadzonej analizy w module RBD.



Rys. 2. Struktura niezawodnościowa dla scenariusza zdarzeń: „wtargnięcie intruza na parter obiektu”. Opracowanie własne



Rys. 3. Struktura niezawodnościowa opracowana w module RBD w programie ITEM ToolKit dla elementów detekcji na parterze obiektu. Opracowanie własne

Summary View		
	Parameter	Value
1	Unavailability Q	0.091123699
2	Failure Frequency W	1.0280151e-5
3	Mean Unavailability Qm	0.0457236
4	Mean Availability Am	0.9542764
5	CFI	1.1310837e-5
6	Expected Failures	0.091122792
7	Unreliability	0.091123626
8	Total Down Time (TDT)	400.53873
9	Total Up Time (TUT)	8359.4613
10	MTBF	96134.017
11	MTTF	91738.424
12	MTTR	4395.5933
13	Availability	0.9088763
14	Reliability	0.90887637
15	Capacity	0
16	No of Cut Sets	5

RBD Cut Set View			
	Unavailability (Q)	Frequency (W)	Events
1	0.038653141	4.3260609e-6	Block 6
2	0.025937686	2.9221869e-6	Block 1
3	0.025937686	2.9221869e-6	Block 7
4	0.0034654319	7.6718943e-7	Block 9::Block 8
5	9.4821711e-5	4.0975479e-8	Block 2::Block 3::Block 4::Block 5

Rys. 4. Wyniki uzyskane z przeprowadzonej analizy w module RBD w programie ITEM Toolkit dla elementów detekcji na parterze obiektu

Struktura niezawodnościowa (rys. 2) zawiera elementy detekcji rozmieszczone na parterze. Wykonane obliczenia i analizy (rys. 3, rys. 4) wykazały, że najbardziej zawodnym elementem tej struktury jest ekspander, a prawdopodobieństwo jego niezdatności jest największe: $Q(t) = 0,039$. Do ekspandera podłączona jest szeregowo grupa wszystkich detektorów w układzie równoległym znajdujących się na tym poziomie. Warunkiem wystarczającym wytworzenia sygnału alarmowego jest wykrycie intruza przez przynajmniej jeden z elementów detekcji. Sygnały z detektorów przesyłane są do ekspandera, który jest połączony szeregowo z centralą alarmową (rys. 2).

Czujnik, który jako pierwszy wykryje zagrożenie, uruchamia akcję alarmową systemu. W sytuacji gdy inny czujnik również wykryje intruza, sygnał alarmowy z detektora też dociera do centrali alarmowej, jednakże nie powieła uruchomienia systemu powiadamiana (gdyż on już pracuje). Sygnał alarmowy z pozostałych czujników zapisywany jest w pamięci centrali (log zdarzeń). Pozwala to na późniejszą weryfikację pracy systemu oraz analizę przebiegu włamania lub akcji sabotażowych. Dzięki tym informacjom można określić stan wiedzy intruza o chronionym obiekcie, poznać główny cel jego wtargnięcia oraz zweryfikować skuteczność systemu alarmowego.

Kolejnymi elementami newralgicznymi struktury są centrala alarmowa $Q(t) = 0,026$ oraz zasilanie $Q(t) = 0,026$. Średni czas do uszkodzenia rozważanej struktury wynosi ok. 10,5 roku.

W podobny sposób dla każdego rozważanego scenariusza zdarzeń obliczono wskaźniki niezawodności, wykorzystując zawarte w tabeli 1 intensywności uszkodzeń elementów SSWiN. Wartości wyznaczonych wskaźników przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Zestawienie wskaźników niezawodności dla wybranych scenariuszy zdarzeń.
Opracowanie własne

Lp.	Scenariusz	Wskaźniki niezawodności	Newralgiczny element	
1.	Powiadomienie o zdarzeniu w sytuacji wykrycia zagrożenia	TDT = 236 MTBF = 160766,86 dni MTTF = 156432,65 MTTR = 4333,6 lat R(t) = 0,94	~9,83 ~18,35 ~17,86 ~0,49	Centrala alarmowa, zasilanie: Q = 0,026
2.	Wtargnięcie intruza na parter	TDT = 400 MTBF = 96134 MTTF = 91738 MTTR = 4395,6 R(t) = 0,9	~16,67 dni ~10,97lat ~10,47 lat ~0,50 lat	Ekspander wejść adresowalnych: Q = 0,039; Centrala alarmowa, zasilanie: Q = 0,026
3.	Wtargnięcie intruza na pierwsze piętro	TDT = 438,4 MTBF = 84821 MTTF = 80576 MTTR = 4245 R(t) = 0,89	~18,26 dni ~9,68 lat ~9,19 lat ~0,48 lat	Ekspander wejść adresowalnych: Q = 0,039; Centrala alarmowa, zasilanie: Q = 0,026
4.	Detekcja za pomocą czujników ruchu	TDT = 279 MTBF = 127691,8 MTTF = 123624,91 MTTR = 4066,89 R(t) = 0,93	~11,63 dni ~14,57 lat ~14,11 lat ~0,46 lat	Centrala alarmowa, zasilanie: Q = 0,026
5.	Detekcja za pomocą kontaktronów	TDT = 351,38 MTBF = 95591,6 MTTF = 91757,16 MTTR = 3834,43 R(t) = 0,9	~14,64 dni ~10,91 lat ~10,47 lat ~0,44 lat	Centrala alarmowa, zasilanie: Q = 0,026
6.	Detekcja za pomocą czujników stłuczenia szkła	TDT = 401 MTBF = 95660 MTTF = 91274,6 MTTR = 4385,72 R(t) = 0,9	~16,7 dni ~10,92 lat ~10,42 lat ~0,5 lat	Ekspander wejść adresowalnych: Q = 0,039; Centrala alarmowa, zasilanie: Q = 0,026

Wyniki obliczeń i analiz przydatne są przede wszystkim do projektowania SSWiN oraz planowania procesu jego eksploatacji. Określenie newralgicznych elementów systemu ułatwia zaplanowanie działań obsługowych, które obejmują m.in. detekcję niezdatności, wyszukiwanie wad ukrytych, oczekiwanie na serwis, oczekiwanie na wymianę elementu niezdatnego, kontrolę funkcjonowania.

5. WNIOSKI

Niezawodność jest jedną z podstawowych własności decydujących o możliwościach wykorzystania każdego systemu technicznego, przy czym rzeczywiste cechy systemu ujawniają się dopiero podczas jego eksploatacji. Istotnym problemem jest zatem takie zaprojektowanie SSWiN, aby zapewnić deklarowany poziom niezawodności. Zadaniu temu można sprostać jedynie pod warunkiem dysponowania informacjami o charakterystykach niezawodnościowych współcześnie eksploatowanych elementów SSWiN. Należy więc zidentyfikować źródła pozyskiwania danych oraz zastosować racjonalne metody prognozowania właściwości niezawodnościowych.

Przykładowe podejście w zakresie modelowania niezawodności SSWiN przedstawiono w niniejszej pracy. Opracowano model chronionego obiektu. Na podstawie zdefiniowanych możliwych scenariuszy działania ewentualnego intruza zaproponowano rozmieszczenie elementów SSWiN w rozważanym obiekcie. Umożliwiło to opracowanie struktur niezawodnościowych dla poszczególnych możliwych scenariuszy zdarzeń niepożądanych w chronionym obiekcie.

Następnie określono oczekiwane charakterystyki niezawodnościowe elementów systemu. Na podstawie pozyskanych danych empirycznych oraz znajomości struktur niezawodnościowych wyznaczono wskaźniki niezawodności SSWiN. Wykorzystano w tym celu specjalistyczne oprogramowanie ITEM ToolKit. Analizy wykonane z użyciem modułu RBD umożliwiły określenie elementów wpływających w największym stopniu na niezawodność SSWiN, są nimi: zasilanie, centrala alarmowa oraz ekspander wejść adresowalnych. Stanowią one newralgiczne elementy rozważanych struktur niezawodnościowych.

Informacje te wykorzystywać można zarówno podczas projektowania SSWiN, jak i do planowania procesu jego eksploatacji. Oszacowana trwałość elementów umożliwia wyznaczenie charakterystyk nieuszkodzalności systemu, natomiast wiedza o prognozowanym stopniu niegotowości ułatwia zaplanowanie działań obsługowych.

LITERATURA

- [1] ITEM TOOLKIT Tutorial Version 7.0
- [2] Mrozek M.: *Analiza ryzyka związanego z systemem sygnalizacji włamania i napadu*, praca dyplomowa wykonana pod kierownictwem G. Sawickiego, WAT, Warszawa, 2015
- [3] PN-93/N-50191 (IEC 50(191)) *Słownik terminologiczny elektryki – Niezawodność; jakość usługi*.
- [4] PN-EN 50131-1:2009/A1:2010 *Systemy alarmowe – Systemy sygnalizacji włamania i napadu – część 1: Wymagania systemowe*.
- [5] PN-IEC 60300-3-5:2004 *Zarządzanie niezawodnością. Część 3-5: Przewodnik zastosowań – warunki badań nieuszkodzalności i zasady badań statystycznych*.

- [6] Sawicki G.: *Określanie właściwości niezawodnościowych uzbrojenia podczas eksploatacji*, IX Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna *Problematyka normalizacji, jakości i kodyfikacji w aspekcie integracji z NATO i UE. Jakość – problemy i rozwiązania*, Warszawa, 2009, s. 201-210.