

Artykuł został przetłumaczony na język angielski na podstawie zadania finansowanego w ramach umowy nr 873/P-DUN/2019 ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego przeznaczonych na działalność upowszechniającą naukę – stworzenie anglojęzycznych wersji wydawanych publikacji. **Jego oficjalną wersją jest wersja anglojęzyczna.** Niniejszy plik jest pierwotną wersją autorską po recenzjach, bez weryfikacji językowej i składu komputerowego.

## **ANALIZA WYMAGAŃ NIEZAWODNOŚCIOWYCH NA SYSTEMY SYGNALIZACJI POŻAROWEJ UŻYTKOWANE W OBIEKTACH BUDOWLANYCH I INFRASTRUKTURY KRYTYCZNEJ**

Krzysztof JAKUBOWSKI

Ministerstwo Obrony Narodowej, e-mail: krzysztof.jakubowski@wat.edu.pl

### **Streszczenie**

Systemy Sygnalizacji Pożarowej (SSP) są najważniejszymi urządzeniami bezpieczeństwa pośród innych stosowanych w budynkach – np. telewizji dozorowej (CCTV), systemu sygnalizacji włamania i napadu (SSWiN). SSP zgodnie z rozporządzeniem Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji (MSWiA) z dn. 07.06.2010 r. muszą być stosowane w wybranych obiektach budowlanych. System w sposób bezpośredni odpowiada za życie, zdrowie ludzi i zwierząt, a pośrednio za wartości majątkowe w obiekcie. Uwzględniając zagrożenia oraz scenariusze pożarowe, SSP powinien charakteryzować się odpowiednią niezawodnością. Dla tych różnych systemów stawiane są konkretne wymagania ze względu na niezawodność i ciągłość funkcjonowania zarówno w czasie dozoru, uszkodzenia jak i pożaru. W artykule przedstawiono analizę wymagań niezawodnościowych dla tych systemów.

**Słowa kluczowe:** system sygnalizacji pożarowej, wymagania niezawodnościowe, obiekty

## 1. Wstęp

Zadaniem SSP jest wykrycie pożaru w możliwie jak najwcześniejszej jego fazie rozwoju, a następnie uruchomienie sygnalizacji ostrzegawczej w taki sposób, aby umożliwić przedsięwzięcie odpowiedniej akcji przeciwpożarowej opracowanej zgodnie ze scenariuszem – matrycą działań zaimplitowaną w centrali sygnalizacji pożarowej (CSP) [1]. Obecnie obowiązującą na terenie Unii Europejskiej (UE) normą dotyczącą SSP są m.in. dokumenty oznaczone jako PN-EN 54-1, które opisują następujące funkcjonalności:

- wymagania, metody badań i kryteria funkcjonowania, niezbędne do przeprowadzenia oceny skuteczności i niezawodności pracy części składowych SSP, CSP oraz czujek, modułów liniowych, itd. [1,2,6];
- wymagania i metody badań elementów, urządzeń i modułów – np. CSP, czujek, sygnalizatorów akustyczno – optycznych (SAO), ręcznych ostrzegaczy pożarowych (ROP), itd. Dokument zawiera także ocenę pod względem wymagań technicznych dla części składowych, które tworzą dany SSP – np. czułość, prawdopodobieństwo fałszywego alarmu ( $P_{FA}$ ), charakterystyki kierunkowe, odporność na zmiany np. napięcia zasilania, temperaturę, wilgotność, ciśnienie, itd. Zaprojektowany i użytkowany SSP powinien być niezawodny poprzez wykorzystanie np. zasady rezerwowania i nadmiarowości – np. elementów, informacyjnego, zasilania, itd., oraz wykorzystywać możliwość funkcjonowania z tzw. zasadą bezpiecznego uszkodzenia wybranych elementów SSP. SSP powinien być także efektywny ze względu na wykrywanie różnych zagrożeń charakteryzowanych przez tzw. pożary testowe (TF) TF 1 – TF 9 [2,4,7];
- określają podstawowe wytyczne dotyczące elementów, urządzeń oraz wyposażenia i użytkowania SSP w różnych budynkach [1,2].

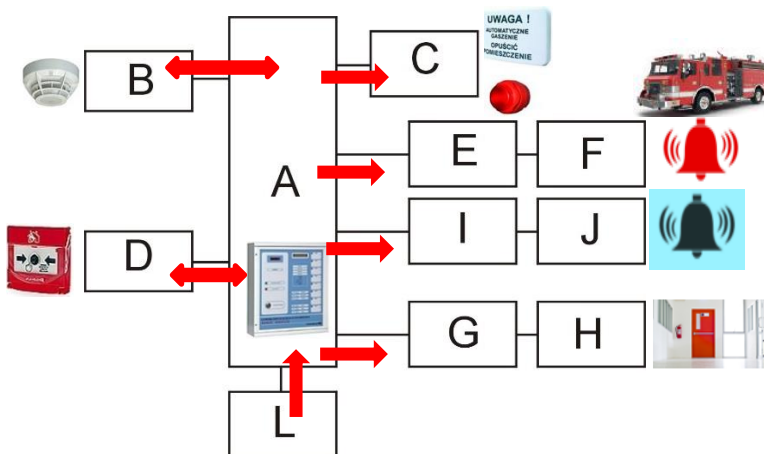
## 2. Systemy sygnalizacji pożarowej

SSP to wieloelementowy złożony obiekt techniczny zaprojektowany tak, aby możliwie jak najlepiej wypełniać założone w scenariuszu i matrycy sterowań CSP funkcjonalności przewidziane do realizacji w wypadku powstania pożaru i wszczęcia np. procedury gaszenia w danym obiekcie. Do jego najważniejszych zadań należą: wykrywanie zagrożeń pożarowych w jak najwcześniejszym stadium, uruchamianie stałych urządzeń gaśniczych (SUG) - (np. zraszaczy, tryskaczy), powiadomienie Państwowej Straży Pożarnej (PSP) oraz alarmowego centrum odbiorczego

(ACO), wykonywanie określonych procedur sterowania i monitoringu - uruchamianie systemów oddymiania, odblokowywanie drzwi nadzorowanych przez system kontroli dostępu (SKD), sterowanie windami itp. Rozgłaszanie procesu alarmowania za pomocą SAO, a także dźwiękowego systemu ostrzegawczego (DSO) o pożarze w obiekcie [2,3].

W skład SSP zgodnie z w/w normą wchodzi następujące elementy (rys.1):

- centrala sygnalizacji pożarowej;
- czujki reagujące na różne wielkości charakterystyczne pożaru (WCHP) wykrywające zjawiska fizyczne występujące podczas TF;
- SAO i ręczne ostrzegacze pożarowe;
- urządzenia transmisji alarmów pożarowych – UTSA [2,6];
- stacje odbiorcze alarmów pożarowych - SOAP;
- urządzenia sterownicze zabezpieczające – np. system oddymiania;
- urządzenia zasilające podstawowe i rezerwowe – rys. 1.



Rys. 1. Uproszczony schemat blokowy SSP, gdzie: A-centrala sygnalizacji pożarowej, B-czujka pożarowa, C-pożarowe urządzenie alarmowe, D-ręczny ostrzegacz pożarowy, E-urządzenie transmisji alarmów pożarowych, F-stacja odbiorcza alarmów pożarowych, G-urządzenie sterowania dla DSO, H-urządzenie sterownicze automatycznych urządzeń zabezpieczających, przeciwpożarowych, I-automatyczne urządzenie zabezpieczające, przeciwpożarowe, J-urządzenie transmisji sygnałów uszkodzeniowych, L-urządzenie zasilające. Linie łączące przedstawiają przepływ informacji, a nie fizyczne połączenie, - droga przepływu sygnałów (opracowanie własne na podstawie PN-EN54-1:2011)

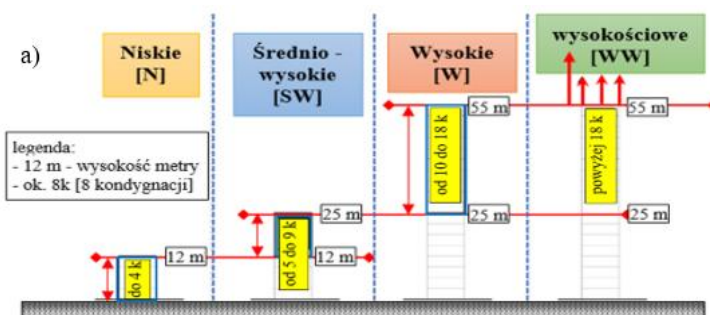
Należy jednak pamiętać, że wszystkie elementy składowe SSP powinny także spełniać odpowiednie wymagania według załącznik A, normy PN-EN 54-1:2011. Może się jednak zdarzyć tak, że wybrane elementy SSP dostępne na rynku, nie odpowiadają, lub nie w pełni odpowiadają definicjom

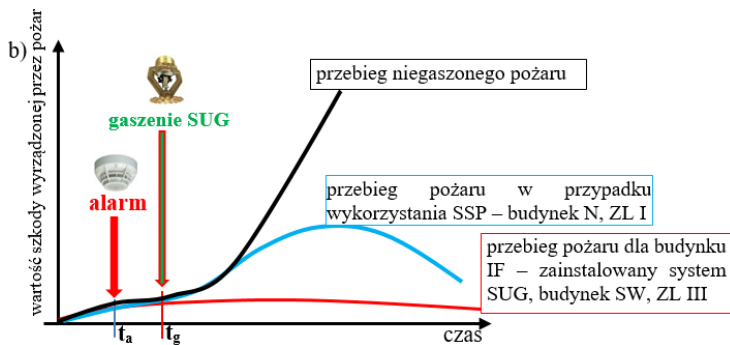
zawartym w dokumentach normatywnych. W takich przypadkach, aby SSP spełniał wymagania normy, powinny być przeprowadzone dodatkowe badania środowiskowe [2]. Do wybranych obiektów budowlanych w których wymagany jest SSP zgodnie z przepisami możemy zaliczyć: obiekty handlowe i wystawowe, kina, hotele, banki teatry, szpitale, itd. [2]. Pełna lista obiektów zamieszczona została w Rozporządzeniu MSWiA z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów.

### 3. Struktura niezawodnościowa systemów sygnalizacji pożarowej w wybranych obiektach budowlanych

Systemy sygnalizacji pożarowej mają różną strukturę techniczną. Jest ona uwarunkowana między innymi kategorią zagrożenia ludzi (ZL) oraz wysokością budynków – rys. 2. Wyróżniamy następujące budynki lub ich części, które stanowią odrębne strefy dla zabezpieczenia przed pożarem [2]:

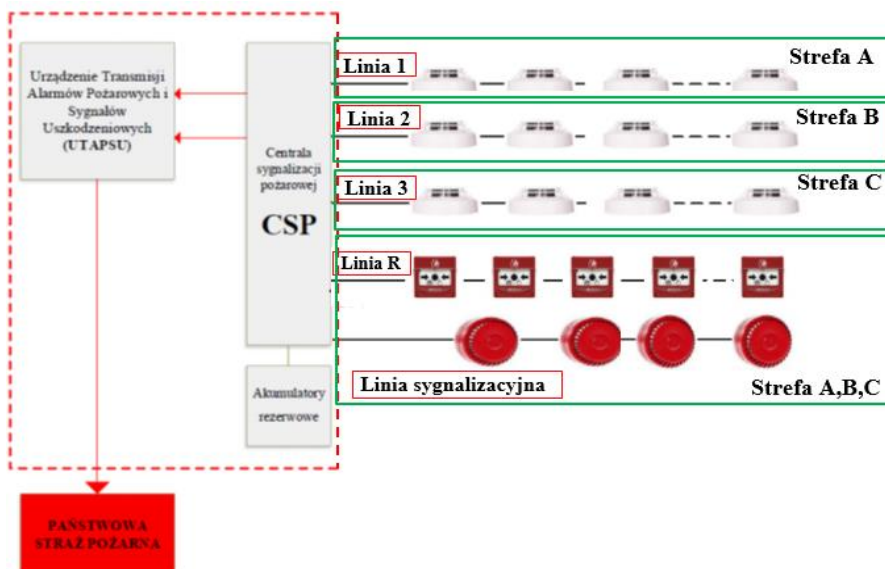
- ZL I – obiekty, które zawierają pomieszczenia przeznaczone do jednoczesnego przebywania ponad 50 osób niebędących ich stałymi użytkownikami, np. sale gimnastyczne, teatry, kina, supermarkety, itd.;
- ZL II – obiekty przeznaczone przede wszystkim do użytku ludzi o ograniczonej zdolności poruszania się, np. przedszkola, szpitale, itp.;
- ZL III – obiekty użyteczności publicznej niekwalifikowane do kategorii ZL I i ZL II; np. budynki administracyjno – biurowe, małe sklepy, itd.;
- ZL IV – obiekty mieszkalne jedno i wielorodzinne – np. domy, bloki mieszkalne;
- ZL V – obiekty zamieszkania zbiorowego niekwalifikowane do kategorii ZL I i ZL II; np. hotele, bursy szkolne, motele, internaty, itd.





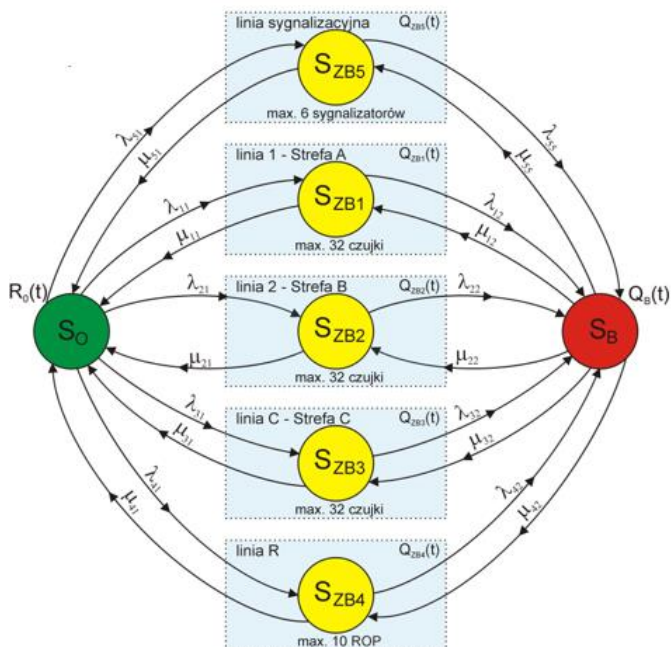
Rys. 2. Rozpatrywane obiekty budowlane w artykule, a) wybrane obiekty budowlane N i SW do rozpatrzenia struktury niezawodnościowej dla użytkowanych wybranych SSP, b) orientacyjne wartości szkody wyrządzonej przez pożar dla wybranych budynków N, SW, gdzie: N – budynek niski, SW – budynek średnio – wysoki, ZL - kategorie zagrożenia ludzi, B – budynek, BIK – budynek infrastruktury krytycznej

Na rys. 2 przedstawiono dwa wybrane obiekty budowlane, których struktury niezawodnościowe będą rozpatrywane w niniejszym artykule. Pierwszym obiektem jest obiekt budowlany (B) zaliczany do kategorii ZL IV o wysokości do 12 m. W tym obiekcie budowlanym jest użytkowany SSP o strukturze jak na rys. 3. W przypadku wystąpienia pożaru po automatycznym wykryciu przez czujkę(i) SSP przebieg przybliżonych wartości szkód, które mogą powstać w obiekcie przedstawiono na rys. 2 b). Obiekt podzielono na trzy różne strefy pożarowe A, B i C, które odpowiadają poszczególnym kondygnacją budynku [2,4,7]. Na poszczególnych ciągach komunikacyjnych budynku zainstalowano ROP – linia R. SOA zostały rozmieszczone wewnątrz i na zewnątrz budynku oraz poszczególnych strefach pożarowych (A, B i C). SSP ma strukturę skupioną, to oznacza, iż wszystkie linie dozoru promieniowe typu B zostały podłączone do CSP. Wszystkie elementy SSP znajdujące się w poszczególnych strefach mają wbudowane izolatory zwarć. CSP poprzez UTAPSU jest podłączone do PSP. W SSP zgodnie z bilansem energetycznym zapewniono zasilanie rezerwowe [2,4,9].



Rys. 3. Schemat struktury SSP użytkowanej w obiekcie budowlanym - budynek typu N, kategoria zagrożenia ludzi ZL IV

SSP przedstawiony na rys. 3 jest system skupionym o prostej realizacji technicznej z wykorzystaniem modułowej budowy CSP. Zapewnia to możliwość realizacji rozbudowy systemu. Przedstawiony na rys. 3 SSP ma strukturę niezawodnościową typu mieszanego, tzn. szeregowo – równoległą. Uszkodzenie CSP, UTAPSU powoduje przejście SSP do stanu niezdatności, tzw. stan zawodności bezpieczeństwa  $Q_B$ . Uszkodzenie pojedynczej linii dozоровej A, B lub C (w tym linii R lub sygnalizacyjnej – rys. 3) powoduje przejście do stanu zagrożenia bezpieczeństwa  $Q_{ZB1}, Q_{ZB2}, Q_{ZB3}$ . SSP dalej jest użytkowany, zgłoszone jest jednak uszkodzenie przez UTAPSU do ACO. Relacje zachodzące w systemie skupionym z CSP do której przyłączono linie: dozоровe otwarte z czujkami optycznymi dymu, sygnalizacyjne z SOA oraz ROP przedstawiono na rys. 4.



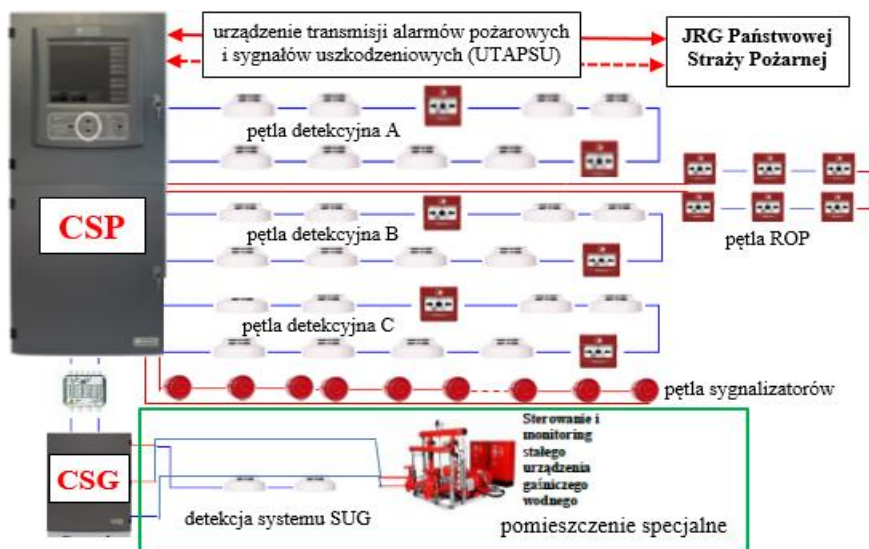
Rys. 4. Relacje zachodzące w SSP skupionym z CSP do której przyłączono linie otwarte z czujkami, linię otwartą ROP-ów, linię sygnalizacyjną z sygnalizatorami akustycznymi, gdzie:  $R_0(t)$  – funkcja prawdopodobieństwa przebywania SSP w stanie pełnej zdatności  $S_{PZ}$ ;  $Q_{ZB1}(t)$ ,  $Q_{ZB2}(t)$ ,  $Q_{ZB3}(t)$ ,  $Q_{ZB4}(t)$ ,  $Q_{ZB5}(t)$  – funkcje prawdopodobieństwa przebywania SSP w poszczególnych stanach zagrożenia bezpieczeństwa;  $Q_B(t)$  – funkcja prawdopodobieństwa przebywania SSP w stanie zawodności bezpieczeństwa  $S_B$ ;  $\lambda_{11}, \lambda_{12}, \lambda_{21} \dots$  to intensywności przejść ze stanu pełnej zdatności  $S_{PZ}$  lub ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa  $S_{ZB}$  do stanu zawodności bezpieczeństwa  $S_B$  – zgodnie z oznaczeniem jak na rys. 4.,  $\mu_{11}, \mu_{12}, \mu_{21} \dots$  – intensywności przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa  $S_{ZB}$  do stanu pełnej zdatności  $S_{PZ}$ , uwaga: na rys. nie zaznaczono intensywności uszkodzenia i naprawy CSP, dostępny serwis wymienia urządzenie na miejscu na zdalne w czasie  $t = 3$  godzin.

#### 4. Struktura niezawodnościowa systemu sygnalizacji pożarowej w obiektach infrastruktury krytycznej

Obiekt budowlany zaliczony do tzw. infrastruktury krytycznej (BIK) występuje w kategorii ZL I o wysokości do 25 m (SW). W obiekcie użytkowany jest SSP o strukturze rozproszonej ze względu na kubaturę [ $m^3$ ] - rys. 5. W przypadku wystąpienia pożaru po automatycznym wykryciu przez czujkę(i) SSP przebieg przybliżonych wartości szkód, które mogą powstać

w BIK przedstawiono na rys. 2 b). W obiekcie zainstalowano stałe urządzenie gaśnicze (SUG), które jest automatycznie uruchamiane przez czujki pracujące w układzie koincydencji podłączone do centrali sterowania gaszeniem (CSG). Budynek BIK został podzielony na trzy strefy pożarowe A, B i C odpowiednio zabezpieczone liniami pętlowymi typu A. Strefy pożarowe nie odpowiadają poszczególnym kondygnacjom znajdującym się w budynku. W budynku zainstalowano także inne elektroniczne systemy bezpieczeństwa (ESB) – SSWiN, CCTV, DSO oraz (SKD). DSO oraz SKD sterowane są informacją o wystąpieniu pożaru w obiekcie przez CSP, np. komunikaty ostrzegawcze, zwolnienie blokad drzwi. Na poszczególnych ciągach komunikacyjnych budynku zainstalowano ROP – pętla dozorowa R. SOA zostały rozmieszczone wewnątrz i na zewnątrz budynku, oraz także w poszczególnych strefach pożarowych A, B i C. SSP użytkowany w BIK ma strukturę rozproszoną. Elementy SSP znajdujące się w poszczególnych strefach posiadają wbudowane izolatory zwarć. CSP oraz CSG poprzez UTAPSU jest podłączone do PSP za pomocą dwóch niezależnych linii telekomunikacyjnych [2,4,5]. BIK wyposażono w zasilanie rezerwowe realizowane z innej linii elektroenergetycznej a także dodatkowo w agregat prądowłóczy który umożliwia zasilanie całego budynku [2,8,10]. Struktura niezawodnościowa SSP przedstawionego na rys. 5 jest typu mieszanego, tzn. szeregowo – równoległa. Uszkodzenie CSP, CSG oraz UTAPSU powoduje przejście SSP do stanu niezdatności – stan zawodności bezpieczeństwa Sz. Uszkodzenie pojedynczej pętli dozorowej A, B lub C, w tym pętli R lub sygnalizacyjnej – rys. 5 powoduje przejście do stanu zagrożenia bezpieczeństwa SzB1, SzB2, SzB3. SSP dalej jest użytkowany, zgłoszone jest uszkodzenie przez UTAPSU do ACO. W BIK znajduje się serwis dla wszystkich ESB wraz z podręcznym magazynem części zapasowych. Serwis może podjąć naprawę po otrzymaniu sygnału o niesprawności z poszczególnych ESB. Relacje zachodzące w systemie rozproszonym z CSP, CSG do której przyłączono pętle: dozorowe z czujkami, sygnalizacyjne z SOA oraz ROP przedstawiono na rys. 6. CSP oraz CSG posiadają wbudowane dodatkowe rezerwowe centrale. W przypadku uszkodzenia mogą realizować opracowany wcześniej scenariusz pożarowy, wykorzystując zasadę tzw. bezpiecznego uszkodzenia (safe damage) [4,9,10].

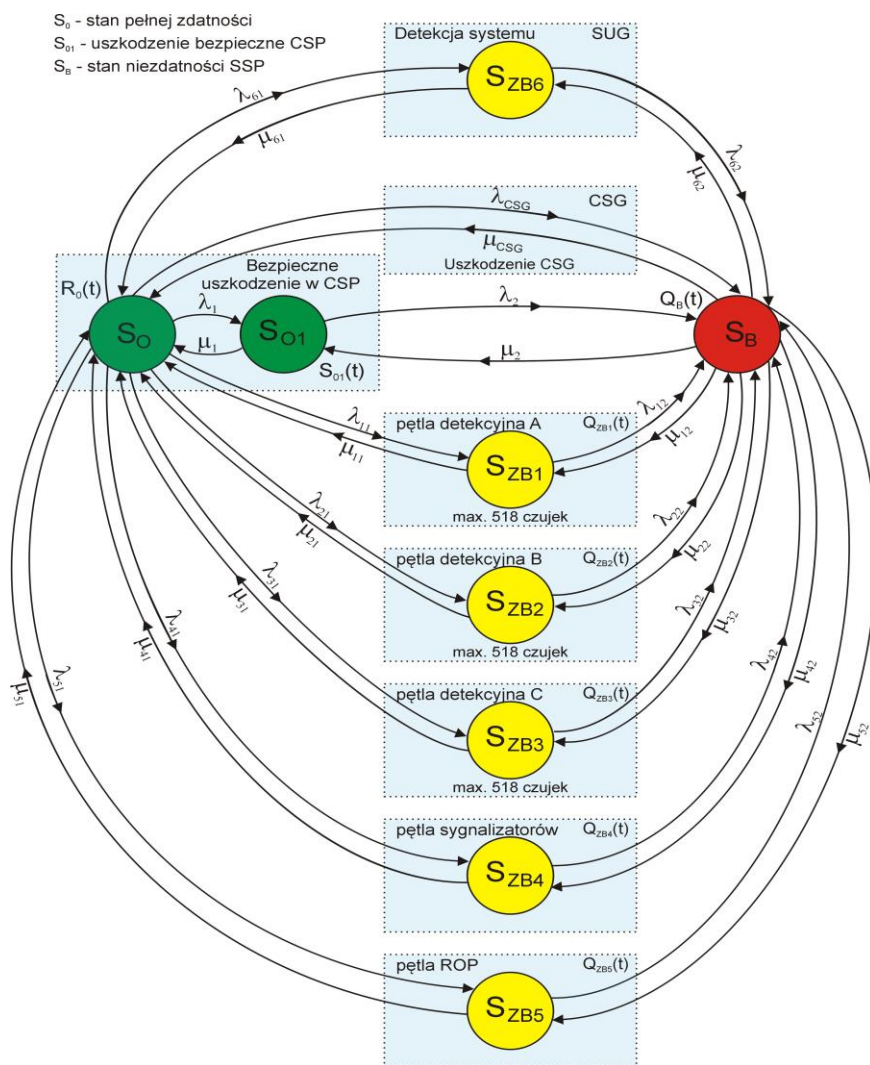




Rys. 5. Schemat struktury SSP użytkowanej w obiekcie budowlanym BIK

## 5. WNIOSKI

SSP to jedne z najważniejszych systemów bezpieczeństwa, które są użytkowane w obiektach budowlanych. Ze względu na ich przeznaczenie i rolę w obiekcie budowlanym powinny posiadać odpowiednią strukturę niezawodnościową. Uszkodzenie pojedynczego urządzenia SSP nie powinno stanowić o przejściu systemu do stanu niezdatności. Dlatego należy wykorzystać wszystkie dostępne środki techniczno-organizacyjne na etapach projektowania, instalowania, a także użytkowania SSP. W obiektach infrastruktury krytycznej powinny obowiązywać szczególne wymagania dla zapewnienia odpowiedniego poziomu niezawodności. Dlatego w tych budynkach CSP posiadają 100% redundancję wszystkich elementów. W SSP zainstalowanym w BIK dostępne jest dodatkowe przejście wynikające z uszkodzenia elementów CSP – tzw. bezpieczne uszkodzenie – rys. 6. W SSP które są użytkowane w BIK należy dodatkowo stosować odpowiednie czujki, najczęściej multidetektory o dużej czułości oraz małym współczynniku prawdopodobieństwa fałszywego alarmu –  $P_{FA}$ . Czujki muszą posiadać także odpowiednie charakterystyki wykrycia zagrożenia pożarowego oraz reagować najlepiej na wszystkie WCHP, które występują w TF 1 – TF 2. Dodatkowo pętle dozorowe (kable uniepalnione PH) powinny być odpowiednio zabezpieczone przed wysoką temperaturą, która występuje w czasie pożaru. Przekazanie do użytkowania SSP w budynkach BIK powinno być poprzedzone wnikliwą oceną projektowania, instalacji i odbiorem PSP.



Rys. 6. Relacje zachodzące w SSP rozproszonym z CSP i CSG, do których przyłączono linie z czujkami, linię ROP-ów, linię ASO, gdzie:  $R_0(t)$  – funkcja prawdopodobieństwa przebywania SSP w stanie pełnej zdatności  $S_0$ ;  $R_{01}(t)$  – funkcja prawdopodobieństwa przebywania SSP w stanie bezpiecznego uszkodzenia – stan zgłoszony do ACO,  $\lambda_{CSG}$  – intensywność uszkodzenia,  $\mu_{CSG}$  intensywność naprawy CSG, pozostałe oznaczenia jak na rys. 4.

## LITERATURA

1. PN-EN 54-1:2011 — Systemy sygnalizacji pożarowej.
2. Klimczak T., Paś J.: Podstawy eksploatacji systemów sygnalizacji pożarowej w obiektach transportowych, Wojskowa Akademia Techniczna,

Warszawa 2020.

3. Jakubowski K., Paś J.: Reliability analysis of alarm signals transmitting systems used to monitoring buildings, *Journal of KONBiN* 2020, Volume 50, Issue 3, DOI 10.2478/jok-2020-0047
4. Rosiński A., Modelowanie procesu eksploatacji systemów telematyki transportu, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2015.
5. Paś J., Jakubowski K.: Indicator analysis of security risk for electronic systems used to protect field command posts of army groupings, *Journal of KONBiN* 2020, Volume 50, Issue 2, DOI 10.2478/jok-2020-0027
6. Paś J., Klimczak T.: Modeling of the process of selected fire signaling systems, *Diagnostyka*, 2019, Vol. 20, No. 4, DOI: 10.29354/diag/113047
7. Paś J., Klimczak T. Selected issues of the reliability and operational assessment of a fire alarm system. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2019; 21 (4): pp. 553–561, doi.org/10.17531/ein.2019.4.3
8. Stapelberg R.F.: *Handbook of Reliability, Availability, Maintainability and Safety in Engineering Design*. Springer-Verlag, London 2009.
9. Billinton R., Allan R. N.: *Reliability evaluation of power systems*. New York: Plenum Press, 1996.
10. Siergiejczyk M., Krzykowska K.: Some Issues of Data Quality Analysis of Automatic Surveillance at the Airport, *Diagnostyka* 1(15), 25–29 (2014)

### **Analysis of Reliability Requirements for Fire Alarm Systems Used in Construction Facilities And Critical Infrastructure**

**Abstract.** Fire Alarm Systems (FAS) are the most important safety devices among others used in buildings - e.g. CCTV or intruder alarm system. FAS according to the law of the Minister of Internal Affairs and Administration (MIA) dated 2010-06-07 must be applied in selected construction objects. The system is directly responsible for life, human and animal health and, indirectly, for the value of property in the object. Taking into account the risk and fire scenarios, the FAS should have adequate reliability. For these various systems are placed on specific requirements for reliability and

continuity of the functioning of both during surveillance, and fire damage. The article presents an analysis of the requirements for the reliability of these systems.

**Keywords:** fire alarm system, reliability requirements, construction facilities