ANALYSIS OF RELIABILITY STRUCTURES FOR FIRE SIGNALING SYSTEMS IN THE FIELD OF FIRE SAFETY AND HARDWARE REQUIREMENTS

ANALIZA STRUKTUR NIEZAWODNOŚCIOWYCH DLA SYSTEMÓW SYGNALIZACJI POŻARU Z UWZGLĘDNIENIEM SCENARIUSZA POŻAROWEGO I WYMAGAŃ SPRZĘTOWYCH

Tomasz Klimczak¹, Jacek Paś²

¹ The Main School of Fire Service, Szkoła Główna Służby Pożarniczej

² Military Academy of Technology, Electronics Department,
Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki

Abstract: *The article presents basic issues related to analysis of reliability structures for selected fire alarm systems (SSP). The developed fire scenario for the selected building can be implemented in practice only with the use of technical devices with the appropriate technical parameters. Practical implementation of SSP on the site includes the use of elements, devices, alarm control panels, detectors, etc. which form a specific technical structure, and thus reliability.*

Keywords: *reliability structures, fire signalling system*

Streszczenie: *W artykule przedstawiono podstawowe zagadnienia związane z analizą struktur niezawodnościowych dla wybranych systemów sygnalizacji pożaru (SSP). Opracowany scenariusz pożarowy dla wybranego obiektu budowlanego możliwy jest do praktycznej realizacji tylko z zastosowaniem urządzeń technicznych o odpowiednich parametrach technicznych. Realizacja praktyczna SSP w obiekcie to wykorzystanie elementów, urządzeń, central alarmowych, czujek, itd. które tworzą określoną strukturę techniczną, a tym samym niezawodnościową.*

Słowa kluczowe: *struktury niezawodnościowe, system sygnalizacji pożaru*

ANALYSIS OF RELIABILITY STRUCTURES FOR FIRE SIGNALING SYSTEMS IN THE FIELD OF FIRE SAFETY AND HARDWARE REQUIREMENTS

1. Introduction

The reliability of fire signalling systems (SSP) can be described as a property allowing the system to maintain the ability to execute previously developed and set functions (for example, ensuring fire safety of facilities, notifying the Fire Brigade, implementing a fire scenario for specific system devices at a strictly specified time - for example, in selected rooms or the entire building etc.) [1,3,6,7]. The adopted technical operations should be undertaken at a specific time and in specific climatic conditions - environment I-IV according to the PN-EN-50131-1:2009 standard. The fire extinguishing function must be executed in the facility regardless of any potential non-compliance of the system's sub-assembly with the requirements [1,3,4]. A fire signalling system is a separate unit for, for example, a smart building where other devices and systems are used, such as burglary and robbery signalling systems, access control systems, CCTV etc. Those systems are assemblies existing thanks to a synergistic cooperation between all of their components (for example, the detector, the manual fire alarm point (ROP), the control panel - the detection loop - the actuating system - the electric actuator of the fire damper, the solenoid valve of the gas cylinder etc.). SSPs constitute an assembly of cooperating components, which are an aim-oriented whole ensuring fire safety in a chosen railway construction. In this case, the fire signalling system can be described with the following equation:

$$SSP_M = [E; W; R] \quad (1)$$

where: SSP_M – the system's matrix, SSP, E – the vector of all elements of the system, W – the vector of properties of specific elements of the system, R – the vector of the transfer relation (flow of information) or connection (wire and wireless control, stabilization etc.) between individual components of the SSP (for example, the detector and the central unit, the central unit, the actuating system and the actuator, the solenoid valve of the gas cylinder, the fire dampers and load-reducing dampers, the device sending fire and damage alarm notifications to the Fire Brigade etc.).

The connections between individual components of the SSP may be explicit or hidden. The relations - connections between individual components of the SSP may be of a linear (measuring components of the temperature detector - the signal amplifier - the A/C transducer etc.) or of a non-linear nature (for example, the actuator's control voltage and actuating components - the motion is transferred via the drive chain of the fire dampers control).

The SSP used at a specific time may be defined as a set of states and a set of transitions between those states - that is the system's behaviour during surveillance, alarm, damage, fire extinguishing, operation etc. Transitions during use of the system may be permitted or prohibited.

2. Reliability of fire signalling systems (SSP)

Reliability of SSPs is their ability to maintain readiness of the system for safe implementation of the adopted function - detection of fire at an early stage and execution of controls according the previously adopted scenario of actions. Reliability of fire signalling systems is its permanent readiness to work in a given operational environment and its ability to operate during fire conditions. Numerous internal and external (intended and unintended) factors affect operational reliability fire devices, installations and systems used in buildings that absolutely need to be complied with, such that the devices can operate as intended in fire conditions (a fire scenario) - Fig. 1. The reliability term is a basic parameter specified in Mandate No. M109 - that is a document developed by the Commission of CEN/CENELEC issued based on Council Directive 89/106/EEC. The document defines the scope of the topic in relation to elements, devices, sub-assemblies and sets of products used to detect and signal fires; fixed fire equipment and its subassemblies; products used for fire and smoke spreading control and explosion suppression.

Reliability of operation, alongside such parameters as durability and performance in fire conditions, is a superior parameter that all fire signalling systems should feature. The value of reliability of fire signalling systems should be shaped at every stage of life of such a system, namely:

- design concepts and application of an appropriate advanced technology of production of all components of the system,
- tests and assessment of compliance of all of the system components with the standards applicable to products and systems,

- appropriate selection of elements, devices and fire signalling systems for the given building,
- appropriate use of all procedures related to the design of fire signalling systems,
- supervision over construction of fire signalling systems and application of acceptance procedures according to implementing regulations,
- supervision over operation of fire signalling systems in given environmental conditions by an authorized entity - execution of periodical reviews, renovations, maintenance works etc.

The M109 mandate defines the acceptable level of each of the fire system's functionality, especially the reliability of its operation [2,4]. The term acceptable is described in such a way that the element, the device or the system as a whole should continue functioning in the case of a single damage. It should not influence negatively other devices, systems and installations with which it cooperates in real time.

An acceptable level of reliability of operation of all elements, devices and subassemblies comprising the fire signalling system is achieved by, among others, application of appropriate technical solutions: all kinds of redundancy, backup power supply units, adequate IP ingress protection class, selection of devices according to specific conditions of use; element, device, subassembly and control panel redundancy; use of protective equipment, execution of the program in the control panel in a way appropriate for the adopted fire scenario, application of the safe failure rule, switching the system's control from automatic (programmed) to manual [2,4]. The system's power supply during a fire should determine the design of all devices as functional reliability mainly on the reliability of power supply units. Power assemblies of the fire signalling system should be equipped with appropriate devices which will ensure continuity of power supply in form of redundancy of subassemblies, supply paths or the power supply sources themselves [5,6,7]. Use of testing and control assemblies is only possible in case of fire, but it does not allow an acceptable level of reliability to be achieved as the assemblies may become unfit for use (break down) during fire. In such a case, repairs are not possible.

Fig. 1 Functions of fire signalling systems implemented according to the EN-54 standard, where: BA – battery sets, LK1,2 - telecommunication lines 1,2 [own product]

3. Focused and dispersed fire signalling systems

Fire signalling systems may be classified, depending on the method fire detection sensors, actuating systems and alarm central units are connected, as focused, dispersed or mixed systems [6,8,9,11]. In case of focused fire signalling systems, all elements of the system are connected to the control panel via a detection loop - Fig. 2.

Fig. 2 Implementation of a simple focused fire signalling system with a single detection loop, smoke and heat sensors and manual call points (ROP).

The diagram of a dispersed system with fixed gas extinguishing devices (SUG) and an autonomic central unit for extinguishing and smoking removal control and master and slave control panels operating in a network is shown in Fig. 3. The system shown in Fig. 3 is characterized by its decentralized structure. It includes individual modules and is designed and programmed according to the requirements set for a specific fire protection system (ISP) in which it is supposed to operate. The applied technology enables use of the fire signalling central unit as a multi-zone device, that is a gas extinguishing control panel or an integrated fire signalling and extinguishing control panel. In order to ensure the highest level of safety of the fire signalling system, X-type fire signalling control panels were used as they have hardware and program redundancy of all cards (doubling of all assemblies with a possibility of switching between them in case of an emergency). They also have memory assemblies, where the software responsible for correct operation of the central units is stored. Use of such a solution guarantees that the entire safety system will operate reliably even in case of a breakdown of its individual subassemblies.

In such a case, the system will be able not only to perform its basic emergency functions according to EN 54-2, but also to execute all control and steering functions according to the scenario of events during fire. In the case of a system breakdown, the basic system will be switched to the backup system executing all functions of the basic system (100% redundancy).

Fig. 3 Diagram of a dispersed and complex system with fixed gas extinguishing equipment (SUG) and an autonomous extinguishing and smoke removal control panel, master and slave control panels 2, 3 operating in a network

4. Fire scenario

The main aim of developing a scenario of events during fire (a fire scenario) is not to describe in detail what happens during a fire in a building, but to specify the selection of fire extinguishing and technical devices and cooperation between them in case of a fire in the building. The selection of devices and development of algorithms of system operation is executed in a way enabling an optimal level of fire safety. The number of possible fire scenarios in a building is very high and it is impossible to consider each case in detail. For the needs of the paper, an analysis of general and characteristic groups of fires, that is fires in specific fire zones, was performed.

The conducted analysis covers all of the most important reactions of fire safety systems and technical systems.

The system of fire safety measures should be selected in such a way that in case of fire:

- the building users are not under the threat of inhalation of toxic fire gases in doses which can have harmful effects on them,
- the optical density of smoke allows for orientation in the building during evacuation,
- the building users are not under the thermal threat of fire gases and flames at such a level of intensity that could pose a risk to their life or health,
- the Fire Brigade rescue crews extinguishing the fire in the building are not under the threat of some elements of the building structure collapsing nor under the threat of other adverse factors, such as electric hazards.

Properties at risk of fire may be divided into three groups, that is the building, its equipment and surroundings. Each of the groups is characterized by a different level of exposure to smoke and heat as well as different ability to restore its full operability after the fire. When setting up the priorities of the safety of properties, usually the direct financial value and indirect losses related to the facility being out of use as well as workload during damage removal are the main ones to be included [2,4]. An exemplary fire scenario for a selected building is shown in Tab. 1.

5. Analysis of reliability structures for fire signalling systems

Models of fire system operation process require their operation to be analysed in real operational conditions. This allows to obtain probability values determining that the considered (sub)assemblies will stay in the indicated operational modes. When analysing functioning of a fire system, relations occurring in its structure can be illustrated in terms of reliability and operation, just as Fig. 4 shows. The system includes a control panel with a single transmission bus to which fire signalling detectors are connected. In each of the surveyed rooms (1-n), there are two differential sensors which operate in a coincidence system - 2nd degree alarm occurs only if the alarm is sent to the control panel by two sensors. If the two sensors ($cz1/1$, $cz1/2$) are fit for a room, for example room no. 1, then $R_{01}(t)$ is a function of a probability that the fire safety surveillance sub-system will remain fully operable (SPZ) in room no. 1. Damage to a single detector in room no. 1 ($cz1/1$ or $cz1/2$) induces the state of safety hazard $Q_{ZBp1}(t)$ in the fire signalling system. It is a state of a partial unfitness of the system for use, which should be signalled by the control panel - Fig. 4.

Tab. 1 Exemplary fire scenario

Fire location:	Fire zone 1 - Vestibule (without any rooms in the zone that are being extinguished)
Fire characteristics	The fire may make evacuation difficult. The evacuation route from the extinguished rooms to the outside of the building passes through the vestibule.
1st degree alarm:	– the detector detects fire
2nd degree alarm:	– no confirmation of the 1st alarm within time: $T_1=1\text{min}$ – no cancellation of the 1st alarm within the detection time $T_2=3\text{min}$ – the manual call point's button is pressed
1st degree alarm	
Fire panel	1st degree alarm signalling with indication of the component's address and the name of the monitored area.
BMS	1st degree alarm signalling. Indication of the location of the endangered room.
2nd degree alarm	
Fire Brigade monitoring	Transmission of the alarm signal to the State Fire Station
Fire panel	2nd degree alarm signalling with indication of the component's address and the name of the monitored area.
BMS	2nd degree alarm signalling. Indication of the location of the endangered room.
Acoustic signalling	Sounders in the endangered zone and in the lodge are started.
Access control	Release of access control on evacuation routes leading from the endangered fire zone.

The fire signalling is also provided with manual call points (ROP) - Fig .4. These are devices whose task in the system is to initiate the 2nd degree alarm. If all ROPs ($ROP_1, ROP_{n-1}, \dots, ROP_n$) are fit for use, then the fire signalling system grouping those devices is in the state of full operability $R_{0rop}(t)$ – Fig. 4.

A damage to one of the ROPs results in switching from the state of full operability, $R_{0rop}(t)$, to the state of safety hazard. In the fire signalling system, the restoration process occurs - μ_1 is the intensity of transmissions from the state of safety hazard $Q_{ZBp1}(t)$ to the state of full operability $R_{01}(t)$ in the case of a damage/exchange of the detector $cz1/1$ or $cz1/2$, the service staff available at the site at which the system is installed - Fig. 4.

Fig. 4 Relations occurring in the fire signalling system taking into account the intensity of transitions from the state of full operability $R_{01}(t)$, $R_{0n-1}(t)$, ..., $R_{0n}(t)$ to the state of safety hazard where: $Q_{ZBp1}(t)$, $Q_{ZBp1-1}(t)$, ..., $Q_{ZBpn}(t)$ taking into account restoration, where: μ_1 – intensity of transmissions from the safety hazard state $Q_{ZBp1}(t)$ to full operability state $R_{01}(t)$, μ_2 – the intensity of transmissions from the safety hazard, state $Q_{ZBn-1}(t)$ to the full operability state, $R_{0n-1}(t)$, μ_n – the intensity of transmissions from the safety hazard state $Q_{ZBpn}(t)$ to the state of full operability state $R_{0n}(t)$ in case of a damage to the sensors [own elaboration].

The function of the full operability state of the system $R_0(t)$ may be expressed using the following equation (1).

$$R_0(t) = \prod_{i=1}^n R_{0i}(t) = R_{01}(t) \cdot \dots \cdot R_{0n-1}(t) \cdot R_{0n}(t) \cdot R_{0rop}(t) \quad (1)$$

The function of the safety hazard state SSP $Q_{ZB}(t)$ may be expressed using the following equation (2).

$$Q_{ZB}(t) = 1 - R_0(t) = 1 - \prod_{i=1}^n R_{0i}(t) = R_{01}(t) \cdot \dots \cdot R_{0n-1}(t) \cdot R_{0n}(t) \cdot R_{0rop}(t) \quad (2)$$

6. Conclusions

The paper presents solutions related to an analysis of reliability structures for fire signalling systems, taking into account the fire scenario and hardware requirements. Ensuring the required reliability in fire signalling systems demands application of appropriate technical solutions in the designed fire safety systems. The fire system's safety depends mainly on the quality of its operation and compliance with inspection and maintenance regimes. System reliability means, first and foremost, its constant readiness for operation. The readiness of used fire systems must be kept at the baseline, that is at a level it has at the time of commissioning. During operation, technical properties of fire signalling systems deteriorate [1,7,9,10]. Therefore, it is necessary to implement mechanisms and undertake activities enabling restoration of the original performance of the fire system and its devices - such as maintenance, preventive operation, repairs, replacement of the system components with components with better technical and operational parameters.

7. Literature

- [1] Będkowski L., Dąbrowski T.: Podstawy eksploatacji, cz. II Podstawy niezawodności eksploatacyjnej. Warsaw: Wojskowa Akademia Techniczna (Military Academy of Technology), 2006.
- [2] Klimczak T., Paś J.: Analysis of the solution of the fire signaling system for the selected railway building, XXXI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna – Inżynieria bezpieczeństwa - EKOMILITARIS 2017 Zakopane, pp. 57 – 58, ISBN 978-83-7798-616-5, pp. 51-52, (p. 10, PDF material)
- [3] Dyduch J., Paś J., Rosiński A.: Podstawy eksploatacji transportowych systemów elektronicznych. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2011.
- [4] Klimczak T., Paś J.: Selected structures of reliability structures of fire signaling systems for fire scale and handling equipment, ISSN 1232-3829, pp. 956-962, Technika Transportu Szynowego, TTS, 12/2017.
- [5] Laskowski, D., Łubkowski, P., Pawlak, E., Stańczyk, P.: Anthropotechnical systems reliability. In: the monograph „Safety and Reliability: Methodology and Applications - Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2014”, editors: Nowakowski T., Młyńczak M., Jodejko-Pietruczuk A. & Werbińska-Wojciechowska S. CRC Press/Balkema, London, 2015, pp. 399-407.
- [6] Paś J.: Eksploatacja elektronicznych systemów transportowych. Uniwersytet Technologiczno - Humanistyczny, Radom 2015.
- [7] Rosiński A.: Modelowanie procesu eksploatacji systemów telematyki transportu. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warsaw 2015.
- [8] Rosiński A.: Reliability-exploitation analysis of power supply in transport telematics system. In: “Safety and Reliability: Methodology and Applications - Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL2

- [9] Siergiejczyk M., Rosiński A., Paś J.: Analysis of unintended electromagnetic fields generated by safety system control panels. *Diagnostyka* 2016, vol. 17, no. 3, pp. 35-40.
- [10] Paś J.: Shielding of the electromagnetic field in the range of small frequencies as the factor for ensuring compatibility in electronic transportation systems. *Archives of Transport System Telematics*, pp. 36 – 41, Volume 9, Issue 3, September 2016
- [11] Paś J., Choromański W.: Results of measurement and determination of threshold electric field component for transport security systems. *Archives of Transport Systems Telematics*, pp. 24 – 29, Volume 8, Issue 1, February 2015
- [12] Paś J., Rosiński A., Wiśnios M., Majda-Zdancewicz E., Łukasiak J.: *Electronic security systems. Introduction to the laboratory.* ISBN 978-83-7938-150-0. Military University of Technology, Warsaw 2018.
- [13] Paś J., Rosiński A.: Selected issues regarding the reliability-operational assessment of electronic transport systems with regard to electromagnetic interference, *Eksploracja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, Vol.19, No. 3, 2017 I, pp. 375-381, <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2017.3.8>.

Jacek Paś, PhD, Eng., *associate professor at the Electronics Faculty of the Military University of Technology. His scientific interests cover reliability and operation analysis of electronic security systems, transport telematics systems and issues related to electromagnetic compatibility. His achievements include over two hundred scientific publications.*

Tomasz Klimczak, junior brigadier, MSc, Eng. *is an officer of the State Fire Service, who serves permanently at The Main School of Fire Service in Warsaw. He designs fire alarm systems, fixed gas fire-extinguishing systems and other fire protection equipment. He conducts training for fixed gas fire-extinguishing system designers at the Research Institute of CNBOP in Józefów. He has written several scientific articles concerning issues related to fire alarm systems, fire scenarios and fire techniques.*

ANALIZA STRUKTUR NIEZAWODNOŚCIOWYCH DLA SYSTEMÓW SYGNALIZACJI POŻARU Z UWZGLĘDNIENIEM SCENARIUSZA POŻAROWEGO I WYMAGAŃ SPRZĘTOWYCH

1. Wstęp

Niezawodność systemów sygnalizacji pożaru w sensie opisowym to własność zachowania zdolności do realizacji wcześniej opracowanych i zadanych funkcji (np. ochrona ppoż. pomieszczeń, realizacja funkcji powiadamiania PSP, wykonanie w określonym ściśle założonym czasie założonego scenariusza pożarowego dla określonych urządzeń systemu – np. w wybranych pomieszczenia lub całego budynku, itd.) [1,3,6,7]. Założone operacje techniczne powinny być wykonane w określonym czasie, w danych warunkach klimatycznych - środowisko I - IV określone według normy PN-EN-50131-1:2009. Realizacja funkcji gaszenia w obiekcie musi nastąpić pomimo ewentualnego niespełnienia niektórych wymagań przez określony podzbiór urządzeń tego systemu [1,3,4]. SSP to wyodrębniony byt z otoczenia dla np. inteligentnego budynku gdzie użytkowane są także inne urządzenia i systemy np. system sygnalizacji włamania i napadu SSW i N, system kontroli dostępu SKD, system telewizji dozorowej CCTV, itd. Systemy te to układy istniejące dzięki synergicznemu współdziałaniu wszystkich swoich elementów składowych (np. czujka(i), ręczny ostrzegacz pożarowy (ROP), centrala – pętla dozorowa – element wykonawczy – elektryczny siłownik klapy pożarowej odcinającej, zawór elektromagnetyczny butli gazowej, itd.). SSP stanowią zbiór współdziałających ze sobą elementów, które stanowią celowo zorientowaną całość w celu zapewnienia bezpieczeństwa pożarowego w wybranym obiekcie kolejowym. System sygnalizacji pożaru można wtedy zapisać jako następujące wyrażenie:

$$SSP_M = [E; W; R] \quad (1)$$

gdzie: SSP_M – macierz systemu SSP, E – wektor wszystkich elementów SSP, W – wektor własności poszczególnych elementów SSP, R – wektor relacji przeniesienia (przepływu informacji) lub połączenia (sterowania przewodowe i bezprzewodowe, stabilizacji, itd.) między poszczególnymi elementami SSP (np. czujka - centrala, centrala - system wykonawczy – siłownik, zawór elektromagnetyczny butli gaśniczej, klapy pożarowe odcinające i odcinające, urządzenie transmisji alarmów pożarowych i uszkodzeniach do Państwowej Straży Pożarnej PSP, itd.).

Powiązania między poszczególnymi elementami w SSP mogą być jawne lub ukryte. Relacje - powiązania między poszczególnymi elementami występującymi w SSP mogą mieć charakter liniowy, np. (element(y) pomiarowe czujnika temperatury - wzmacniacz sygnału - przetwornik A/C, itd.) lub nieliniowe np. (napięcie sterowania silnikiem wykonawczym - a elementy wykonawcze – przeniesienie ruchu poprzez łańcuch napędowy sterowania klapami oddymiania). SSP użytkowany w określonym czasie można zdefiniować także jako zbiór stanów i zbiór przejść między tymi stanami – tj. zachowanie się systemu w czasie – dozorowania, alarmowania, uszkodzenia, gaszenia, obsługiwanie, itd. Przejścia występujące podczas procesu użytkowania w systemie mogą być dozwolone lub niedozwolone.

2. Niezawodność systemów sygnalizacji pożaru

Niezawodność SSP - to zdolność do utrzymania gotowości systemu do bezpiecznej realizacji założonej funkcji – wykrywania pożaru w jego wczesnym stadium i realizacja sterowań według wcześniej opracowanego scenariusza postępowania. Niezawodność działania systemów sygnalizacji pożaru to ciągła gotowość do pracy w danym środowisku eksploatacyjnym oraz zdolność funkcjonowania w warunkach pożaru. Na niezawodność działania elementów, urządzeń, instalacji i systemów sygnalizacji pożaru które są wykorzystywane w obiektach budowlanych ma wpływ szereg czynników zewnętrznych i wewnętrznych (zamierzonych i niezamierzonych), których spełnienie jest bezwzględnie wymagane, aby w warunkach pożaru, mogły one funkcjonować tak, jak zostały zaprojektowane (scenariusz pożarowy) – rys. 1. Pojęcie niezawodności jest podstawowym parametrem które zostało określone w mandacie nr M109 – tj. dokumencie opracowanym przez Komisję CEN/CENELEC wydanym na podstawie dyrektywy Rady Europy 89/106/EEC. Dokument definiuje to zagadnienie dla elementów, urządzeń, podzespołów i zestawów wyrobów służących do wykrywania i sygnalizacji pożaru, stałych urządzeń gaśniczych i ich podzespołów, wyrobów służących do kontroli i rozprzestrzeniania ognia i dymu oraz tłumienia wybuchu.

Niezawodność działania obok takich parametrów jak trwałość i właściwość użytkowa w warunkach wystąpienia pożaru jest parametrem nadrzędnym który powinien cechować wszystkie systemy sygnalizacji pożarowej. Wartość poziomu niezawodności działania systemów sygnalizacji pożaru powinna być kształtowana na każdym etapie „życia” tego systemu, a mianowicie:

- założenia konstrukcyjne i stosowanie odpowiedniej, zaawansowanej technologii produkcji wszystkich elementów składowych SSP,

- realizacja badań i oceny zgodności wszystkich elementów składowych SSP zgodnie z normami dotyczącymi wyrobów i systemów,
- odpowiedniego doboru elementów, urządzeń i systemów sygnalizacji pożaru dla danego obiektu budowlanego,
- odpowiednie wykorzystanie wszystkich procedur związanych z projektowaniem systemów sygnalizacji pożaru,
- nadzór na wykonaniem systemów sygnalizacji pożaru i stosowanie procedur odbiorowych zgodnie z przepisami wykonawczymi,
- nadzór nad eksploatacją systemów sygnalizacji pożaru w danych warunkach środowiskowych przez uprawniony podmiot – realizacja przeglądów okresowych, modernizacji, konserwacji, itd.

W mandacie M109 zdefiniowano akceptowalny poziom dla każdej funkcjonalności SSP, a szczególności niezawodności działania [2,4]. Pojęcie akceptowalny jest definiowane w ten sposób, że element, urządzenie, system sygnalizacji pożaru jako całość, instalacja ppoż. nie powinna w przypadku wystąpienia jednokrotnego uszkodzenia zaprzestać wykonywania swoich funkcji. Nie powinna także wpływać negatywnie na inne urządzenia, systemy i instalacje które z nią w czasie rzeczywistym współpracują. Osiągnięcie akceptowalnego poziomu niezawodności działania wszystkich elementów, urządzeń i podzespołów które wchodzi w skład SSP to między innymi stosowanie odpowiednich rozwiązań technicznych: wszystkich rodzajów nadmiarowości, zasilania rezerwowego, stopnia ochrony obudowy IP, dobór urządzeń do określonych warunków środowiskowych użytkowania, redundancja elementów, urządzeń, podzespołów i central alarmowych, stosowanie urządzeń zabezpieczających odpowiedni przebieg realizacji programu w centrali alarmowej dla założonego scenariusza pożarowego, wykorzystanie zasady safe failure (bezpieczne uszkodzenie), obniżenie poziomu sterowania SSP z pracy automatycznej (programowej) na tryb ręczny [2,4]. Zasilanie SSP w czasie trwania pożaru, powinno determinować konstrukcję wszystkich urządzeń, ponieważ od pewności zasilania zależy przede wszystkim niezawodność działania. Układy (systemy) zasilania SSP powinny być wyposażone w odpowiednie urządzenia które zapewniają ciągłość zasilania, tj. redundancja podzespołów, torów zasilania lub samych źródeł zasilania [5,6,7]. Stosowanie układów testujących, kontrolnych jest tylko możliwe w przypadku wystąpienia pożaru, jednak nie pozwala to na osiągnięcie akceptowalnego poziomu niezawodności, gdyż niezdatność (awaria) może wystąpić w czasie trwania pożaru. W takim wypadku nie jest możliwe wykonywanie napraw.

*Analysis of reliability structures for fire signaling systems in the field of fire safety...
Analiza struktur niezawodnościowych dla systemów sygnalizacji pożaru...*

Rys. 1 Funkcje systemu sygnalizacji pożaru realizowane zgodnie z normą EN - 54 gdzie: BA – baterie akumulatorów, LK1,2 – linie telekomunikacyjne 1,2 [opracowanie własne]

3. Skupione i rozproszone systemy sygnalizacji pożaru

Systemy sygnalizacji pożaru można podzielić ze względu na sposób podłączenia sensorów, układów wykonawczych, central alarmowych wykrywających pożar na skupione, rozproszone i mieszane [6,8,9,11]. W przypadku skupionych systemów sygnalizacji pożaru wszystkie elementy systemu są podłączone do centrali alarmowej za pomocą pętli dozorowej – rys. 2.

Rys. 2 Realizacja prostego skupionego systemu sygnalizacji pożaru z pojedynczą pętlą dozorową z wykorzystaniem czujek dymu i ciepła oraz ROP

Schemat rozproszonego SSP ze stałymi urządzeniami gaśniczymi gazowymi (SUG) i autonomiczną centralą sterowania gaszeniem i oddymianiem, centralami alarmowymi typu master i slave które pracują w sieci przedstawiono na rys. 3. SSP przedstawiony na rys. 3 charakteryzuje się strukturą zdecentralizowaną. Zbudowany jest z pojedynczych modułów i zaprojektowany oraz programowany stosownie do wymogów stawianych konkretnej instalacji sygnalizacji pożarowej (ISP), w której ma pracować. Zastosowana technologia pozwala na wykorzystanie centrali sygnalizacji pożarowej jako urządzenia wielostrefowego, tj. centrali sterowania gaszeniem, lub jako zintegrowanej centrali sygnalizacji pożarowej i sterowania gaszeniem. W celu zapewnienia najwyższego poziomu bezpieczeństwa pracy systemu sygnalizacji pożarowej zastosowano centrale sygnalizacji pożarowej typu X które posiadają redundancję sprzętową i programową wszystkich kart (tzn. zdublowanie wszystkich układów z możliwością przełączania w czasie awarii).

Posiadają także układy pamięci gdzie przechowywane jest oprogramowanie odpowiedzialne za prawidłową pracę central. Zastosowanie takiego rozwiązania gwarantuje, że cały system bezpieczeństwa będzie funkcjonował w sposób niezawodny nawet w przypadku awarii jego poszczególnych podzespołów.

*Analysis of reliability structures for fire signaling systems in the field of fire safety...
Analiza struktur niezawodnościowych dla systemów sygnalizacji pożaru...*

W takim przypadku system będzie nie tylko zdolny do wykonywania podstawowych funkcji awaryjnych zgodnie z EN 54-2 ale będzie realizował wszystkie funkcje kontrolno-sterujące zgodnie ze scenariuszem rozwoju zdarzeń w trakcie pożaru. W przypadku wystąpienia awarii systemowej nastąpi przełączenie systemu podstawowego na układ zapasowy, realizujący wszystkie funkcje systemu podstawowego (100 % redundancja).

Rys. 3 Schemat rozproszonego - złożonego SSP ze stałymi urządzeniami gaśniczymi gazowymi (SUG), z autonomiczną centralą sterowania gaszeniem i oddymianiem, centralami alarmowymi typu master i slave 2, 3 w sieci

4. Scenariusz pożarowy

Głównym celem tworzenia scenariusza zdarzeń w czasie pożaru (scenariusza pożarowego) nie jest szczegółowy opis przebiegu pożaru w obiekcie, ale określenie doboru i koncepcji współdziałania urządzeń przeciwpożarowych i technicznych na wypadek powstania pożaru w budynku. Dobór urządzeń i opracowanie algorytmów ich działania systemów wykonano w sposób zapewniający optymalny poziom bezpieczeństwa pożarowego. Liczba możliwych przebiegów pożarów w obiekcie jest bardzo duża i nie ma możliwości szczegółowego rozważenia każdego przypadku. Na potrzeby referatu dokonano analizy uogólnionych, charakterystycznych grup pożarów, tj. pożarów w poszczególnych strefach pożarowych. Przeprowadzona analiza wyczerpuje najważniejsze możliwe reakcje systemów przeciwpożarowych i systemów technicznych. System zabezpieczeń przeciwpożarowych powinien być dobrany tak, aby w przypadku pożaru:

- użytkownicy obiektu nie byli narażeni na inhalację toksycznych gazów pożarowych w dawkach mogących spowodować szkodliwe skutki;
- gęstość optyczna dymu umożliwia orientację w budynku na etapie ewakuacji;
- użytkownicy obiektu nie byli narażeni na oddziaływanie cieplne gazów pożarowych i płomieni w natężeniu mogącym zagrozić życiu i zdrowiu;
- ekipy ratownicze Państwowej Straży Pożarnej, prowadzące działania gaśnicze w budynku nie były narażone na zawalenie elementów konstrukcji oraz oddziaływania innych niekorzystnych czynników jak np. oddziaływanie prądu elektrycznego.

Mienie zagrożone pożarem można podzielić na trzy grupy, tj. budynek, wyposażenie budynku i otoczenie budynku. Każda z tych grup charakteryzuje się inną podatnością na oddziaływanie dymu i ciepła, jak również różną możliwością przywrócenia do stanu pełnej przydatności po pożarze. Określając priorytety w zabezpieczeniu mienia zazwyczaj kieruje się bezpośrednią wartością finansową oraz stratami pośrednimi, związanymi z wyłączeniem z funkcjonowania obiektu, nakładem pracy przy usuwaniu szkód [2,4]. Przykładowy scenariusz pożarowy dla wybranego obiektu budowlanego przedstawiono w tab. 1.

5. Analiza struktur niezawodnościowych dla systemów sygnalizacji pożaru

Modele procesu eksploatacji SSP wymagają analizy ich funkcjonowania w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych. Dzięki temu możliwe jest uzyskanie zależności pozwalających wyznaczyć wartości prawdopodobieństw przebywania rozpatrywanych (pod)systemów w wyróżnionych stanach eksploatacyjnych. Przeprowadzając analizę funkcjonowania SSP, można zilustrować relacje zachodzące w tej strukturze, w aspekcie niezawodnościowo-eksploatacyjnym, tak jak przedstawia to rys. 4. W systemie znajduje się centrala alarmowa z pojedynczą magistralą transmisyjną do której podłączone są czujki sygnalizujące pożar. W każdym z nadzorowanych pomieszczeń (1 – n) znajdują się dwie różniczkowe czujki temperatury, które pracują w układzie koincydencji – wystąpienie alarmu II stopnia wtedy i tylko wtedy gdy alarm zostanie zgłoszony do centrali przez dwie czujki.

Jeżeli dwie czujki są zdadne (cz1/1, cz1/2) dla pomieszczenia np. nr 1, to $R_{01}(t)$ jest funkcją prawdopodobieństwa przebywania podsystemu nadzoru SSP nad bezpieczeństwem dla pomieszczenia nr 1 w stanie pełnej zdadności SPZ.

Tab. 1 Przykładowy scenariusz pożarowy

Lokalizacja pożaru:	Strefa pożarowa 1 – Wiatrołap (bez pomieszczeń gaszonych w obrębie tej strefy).
Charakterystyka pożaru	Pożar może powodować utrudnienia warunków ewakuacji. Przez wiatrołap prowadzi droga ewakuacyjna na zewnątrz budynku z części pomieszczeń gaszonych.
Alarm I stopnia:	– wykrycie pożaru przez czujkę
Alarm II stopnia:	– brak potwierdzenia alarmu I w czasie $T_1=1$ min – brak kasowania alarmu I w czasie rozpoznania $T_2=3$ min – wciśnięcie przycisku ROP
Alarm I stopnia	
CSP	Sygnalizacja alarmu I stopnia z podaniem adresu elementu i nazwy strefy dozorowej.
BMS	Sygnalizacja alarmu I stopnia. Wskazanie lokalizacji zagrożonego pomieszczenia.
Alarm II stopnia	
Monitoring PSP	Przesłanie sygnału alarmowego do PSP.
CSP	Sygnalizacja alarmu II stopnia z podaniem adresu elementu i nazwy strefy dozorowej.
BMS	Sygnalizacja alarmu II stopnia. Wskazanie lokalizacji zagrożonego pomieszczenia.
Sygnalizacja akustyczna	Uruchomienie sygnalizatorów akustycznych w zagrożonej strefie pożarowej oraz w portierni
Kontrola dostępu	Zwolnienie kontroli dostępu na drogach ewakuacyjnych z zagrożonej strefy pożarowej.

Uszkodzenie pojedynczej czujki w pomieszczeniu nr 1 (cz1/1 lub cz1/2) powoduje przejście SSP w stan zagrożenia bezpieczeństwa $Q_{ZBp1}(t)$. Jest to stan częściowej niezdatności systemu który powinien być sygnalizowany w centrali alarmowej – rys. 4. W systemie SSP zainstalowano także ręczne ostrzegacze przeciwpożarowe (ROP) – rys. 4. Są to urządzenia których zadaniem w SSP jest uruchomienie alarmu II stopnia. Jeżeli wszystkie ROP-y ($ROP_1, ROP_{n-1}, \dots, ROP_n$) są zdadne to podsystem SSP grupujący te urządzenia znajduje się w stanie pełnej zdadności $R_{0rop}(t)$ – rys. 4.

Uszkodzenie pojedynczego ROP-u powoduje przejście ze stanu pełnej zdadności $R_{0rop}(t)$ do stanu zagrożenia bezpieczeństwa $Q_{ZBropn-2}(t)$. W systemie SSP występuje proces odnowy - μ_1 to intensywność przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa $Q_{ZBp1}(t)$ do stanu pełnej zdadności $R_{01}(t)$ w przypadku uszkodzenia/wymiany czujki cz1/1 lub cz1/2, służby serwisowe dostępne na miejscu instalacji SSP – rys. 4.

Rys. 4 Relacje występujące w SSP z uwzględnieniem intensywności przejść ze stanu pełnej zdolności $R_{01}(t)$, $R_{0n-1}(t)$, ..., $R_{0n}(t)$ do stanu zagrożenia bezpieczeństwa gdzie: $Q_{ZBp1}(t)$, $Q_{ZBpn-1}(t)$, ..., $Q_{ZBpn}(t)$ z uwzględnieniem stosowania odnowy, gdzie: μ_1 – intensywność przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa $Q_{ZBp1}(t)$ do stanu pełnej zdolności $R_{01}(t)$, μ_2 – intensywność przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa $Q_{ZBn-1}(t)$ do stanu pełnej zdolności $R_{0n-1}(t)$, μ_n – intensywność przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa $Q_{ZBpn}(t)$ do stanu pełnej zdolności $R_{0n}(t)$ w przypadku uszkodzenia czujek [opracowanie własne]

Funkcję stanu pełnej zdatności systemu SSP $R_0(t)$ można wyrazić równaniem (1).

$$R_0(t) = \prod_{i=1}^n R_{0i}(t) = R_{01}(t) \cdot \dots \cdot R_{0n-1}(t) \cdot R_{0n}(t) \cdot R_{0rop}(t) \quad (1)$$

Funkcję stanu zagrożenia bezpieczeństwa SSP $Q_{ZB}(t)$ można wyrazić równaniem (2).

$$Q_{ZB}(t) = 1 - R_0(t) = 1 - \prod_{i=1}^n R_{0i}(t) = R_{01}(t) \cdot \dots \cdot R_{0n-1}(t) \cdot R_{0n}(t) \cdot R_{0rop}(t) \quad (2)$$

6. Wnioski

W opracowaniu przedstawiono rozważania dotyczące analizy struktur niezawodnościowych dla systemów sygnalizacji pożaru z uwzględnieniem scenariusza pożarowego i wymagań sprzętowych. Zapewnienie wymaganej funkcji niezawodności w systemach sygnalizacji pożaru wymaga stosowania odpowiednich rozwiązań technicznych w projektowanych instalacjach ppoż. Niezawodność instalacji przeciwpożarowej zależy przede wszystkim, od jakości jego eksploatacji, przestrzegania reżimów przeglądowych i konserwacji. Niezawodność instalacji tj. przede wszystkim jej ciągły stan gotowości do działania. Stan gotowości instalacji przeciwpożarowych w czasie eksploatacji powinien być bezwzględnie utrzymany na poziomie wyjściowym, tj. takim, jaki był w momencie ich oddania do eksploatacji. W czasie eksploatacji następuje pogorszenie właściwości technicznych instalacji SSP [1,7,9,10,13,14]. Jest, zatem rzeczą konieczną, aby zostały wdrożone mechanizmy i czynności, które pozwalają na odtworzenie pierwotnej sprawności instalacji i urządzeń przeciwpożarowych – tj. konserwacja, obsługa profilaktyczna, naprawa, wymiana elementów SSP na inne o lepszych parametrach techniczno-eksploatacyjnych.

7. Literatura

- [1] Będkowski L., Dąbrowski T.: Podstawy eksploatacji, cz. II Podstawy niezawodności eksploatacyjnej. Warszawa: Wojskowa Akademia Techniczna, 2006.
- [2] Klimczak T., Paś J.: Analysis of the solution of the fire signaling system for the selected railway building, XXXI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna – Inżynieria bezpieczeństwa - EKOMILITARIS 2017 Zakopane, str. 57 – 58, ISBN 978-83-7798-616-5, str. 51-52, (str. 10, materiał PDF)
- [3] Dyduch J., Paś J., Rosiński A.: Podstawy eksploatacji transportowych systemów elektronicznych. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2011.

- [4] Klimczak T., Paś J.: Selected structures of reliability structures of fire signaling systems for fire scale and handling equipment, ISSN 1232-3829, pp. 956-962, Technika Transportu Szynowego, TTS, 12/2017.
- [5] Laskowski, D., Łubkowski, P., Pawlak, E., Stańczyk, P.: Anthropotechnical systems reliability. In: the monograph „Safety and Reliability: Methodology and Applications - Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2014”, editors: Nowakowski T., Młyńczak M., Jodejko-Pietruczuk A. & Werbińska-Wojciechowska S. CRC Press/Balkema, London, 2015, pp. 399-407.
- [6] Paś J.: Eksploatacja elektronicznych systemów transportowych. Uniwersytet Technologiczno - Humanistyczny, Radom 2015.
- [7] Rosiński A.: Modelowanie procesu eksploatacji systemów telematyki transportu. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2015.
- [8] Rosiński A.: Reliability-exploitation analysis of power supply in transport telematics system. In: „Safety and Reliability: Methodology and Applications - Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL2
- [9] Siergiejczyk M., Rosiński A., Paś J.: Analysis of unintended electromagnetic fields generated by safety system control panels. Diagnostyka 2016, vol. 17, no. 3, pp. 35-40.
- [10] Paś J.: Shielding of the electromagnetic field in the range of small frequencies as the factor for ensuring compatibility in electronic transportation systems. Archives of Transport System Telematics, pp. 36 – 41, Volume 9, Issue 3, September 2016
- [11] Paś J., Choromański W.: Results of measurement and determination of threshold electric field component for transport security systems. Archives of Transport Systems Telematics, pp. 24 – 29, Volume 8, Issue 1, February 2015
- [12] Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A.: *Issue of reliability-exploitation evaluation of electronic transport systems used in the railway environment with consideration of electromagnetic interference*, IET Intelligent Transport Systems, doi: 10.1049/iet-its.2015.0183, Source: Volume 10, Issue 9, November 2016, pp. 587 – 593.
- [13] Paś J., Rosiński A., Wiśnios M., Majda-Zdancewicz E., Łukasiak J.: *Electronic security systems. Introduction to the laboratory*. ISBN 978-83-7938-150-0. Military University of Technology, Warsaw 2018.

- [14] Paś J., Rosiński A.: Selected issues regarding the reliability-operational assessment of electronic transport systems with regard to electromagnetic interference, *Eksploracja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, Vol.19, No. 3, 2017 I, pp. 375-381, <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2017.3.8>.

Dr hab. inż. Jacek Paś, profesor nadzwyczajny na Wydziale Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej. Jego zainteresowania naukowe obejmują analizę niezawodnościowo-eksploatacyjną elektronicznych systemów bezpieczeństwa, systemów telematyki transportu oraz zagadnienia kompatybilności elektromagnetycznej. W dorobku naukowym posiada ponad dwieście publikacji naukowych.

Mł. bryg. mgr inż. Tomasz Klimczak jest funkcjonariuszem Państwowej Straży Pożarnej pełniącym służbę stałą w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. Zajmuje się projektowaniem SSP, SUD gazowych oraz innych instalacji ppoż. Jest wykładowcą na kursach dla projektantów SUG w CNBOP. Jest autorem kilku artykułów naukowych o tematyce związanej z systemami sygnalizacji pożarowej, scenariuszem pożarowym oraz technice pożarniczej.