

Aspekty techniczne stosowania redundantnych systemów bezpieczeństwa w inteligentnym budynku

Jerzy Mikulik, Katarzyna Majewska, Marcin Pawlik

Wstęp

Artykuł przedstawia problem opłacalności technicznej stosowania redundantnych systemów bezpieczeństwa w budynkach inteligentnych [5]. Redundancja stanowi obecnie podstawowy kierunek rozwoju układów o zwiększonej pewności działania. W systemach złożonych stosowanie pełnej redundancji niesie ze sobą konieczność ponoszenia wysokich kosztów inwestycyjnych, utrzymania i konserwacji. Pełna redundancja nie zawsze jest możliwa do zrealizowania w związku z ograniczeniami spowodowanymi brakiem dostępu do elementów czy niedostateczną wielkością obszaru przeznaczanego na projektowany system. W takiej sytuacji inwestor podejmuje decyzje o zastosowaniu rozwiązań okrojonych, polegających na częściowej redundancji. W przypadku systemów automatyki budynkowej, poza zapewnieniem wysokiego prawdopodobieństwa poprawnej reakcji systemu w przypadku rzeczywistego zagrożenia (działanie uprawnione), równie ważne jest zapewnienie niskiego prawdopodobieństwa reakcji w przypadku fałszywego alarmu spowodowanego np. błędem czujek (działanie nieuprawnione).

W niniejszym artykule przedstawiono analizę redundantnych systemów bezpieczeństwa budynkowego z uwzględnieniem kosztów i pewności ich działania. Zaznaczono różnice pomiędzy systemami o zwiększonej pewności działania tylko w sytuacji „działanie uprawnione” oraz systemami o zwiększonej pewności zarówno w sytuacji „działanie uprawnione”, jak i brak „działania nieuprawnionego”. Do analizy niezawodności przyjęto wskaźnik w postaci nieuszkodzalności systemu, czyli poprawnego działania systemu w określonych warunkach i w określonym przedziale cza-

su [2, 3]. Do analizy ekonomicznej przyjęto koszty różnych konfiguracji systemu (różne rodzaje redundancji). Zweryfikowano opłacalność stosowania struktur w pełni nadmiarowych oraz zasugerowano struktury będące kompromisem pomiędzy zapewnieniem wysokiej pewności prawidłowego działania w sytuacji uprawnionej i nieuprawnionej, jednocześnie przy relatywnie niskich kosztach implementacji systemu.

Przedmiot badań

Jako przedmiot badań zostały wybrane systemy składające się zarówno z części detekcyjno-analizującej, jak i części wykonawczej. Przykładem takiego systemu jest System Automatycznego Gaszenia Gazem (SAG-G). W przypadku braku działania uprawnionego dochodzi zwykle do zniszczenia chronionych takim systemem pomieszczeń, np. serwerowni. W przypadku działania nieuprawnionego pojawia się konieczność uruchomienia procedury przewidzianej po wyładowaniu gazu oraz powtórnego napełnienia zespołu butli. Procedura może doprowadzić do ograniczeń w użytkowaniu pomieszczeń, a napełnienie systemu drogim gazem gaśniczym powoduje znaczne koszty. Kolejnym niebezpieczeństwem wynikającym z nieuprawnionego zadziałania systemu jest dążenie do „znieczulenia” systemu na przyszłość, co może skutkować w dalszej kolejności brakiem działania uprawnionego.

Na potrzeby niniejszego artykułu przedstawiono część badań odnoszącą się do najprostszych systemów. Każdy system składa się z kombinacji trzech rodzajów elementów:

- czujnik (cz) – element odpowiadający za wykrywanie stanu alarmowe-

Abstract: The paper deals with the problem of technical effectiveness of redundant safety systems in intelligent buildings. Probability of „authorized” and „unauthorized actions” for certain configurations of Automatic Fire Extinguishing System was calculated. It has been shown that it is difficult to design a redundant system that ensure high probability of authorized action and concurrently low probability of unauthorized action. Conclusions regarding the conditions of the use of different types of redundancy that can be helpful in the design of the automatic safety systems of the intelligent building have been formulated

go. Cena czujnika z montażem została ustalona na poziomie 650 PLN;

- sterownik (s) – element odpowiadający za zebranie i przetworzenie sygnałów z czujników na sygnał dla elementu wykonawczego. Cena sterownika z montażem została ustalona na poziomie 9500 PLN;
- element wykonawczy (ew) – element odpowiadający za przeprowadzenie akcji, np. akcji gaśniczej. Założono jeden element wykonawczy w każdej strukturze, jego cena nie ma więc zasadniczego wpływu na koszt realizacji systemu.

Prawdopodobieństwo działania uprawnionego dla okresu jednego roku i analizowanych elementów, określone na podstawie danych eksploatacyjnych, przedstawia się następująco:

- Czujnik $R_{cz} = 0,993$;
- Sterownik $R_s = 0,9975$;
- Element wykonawczy $R_{ew} = 0,9988$.

Tabela. 1 Koszty realizacji poszczególnych struktur systemu automatycznego gaszenia

Struktura	Koszt [zł]
SA	10 150
SB	10 800
SC	10 800
SD	20 300
SE	20 300
SF	20 300
SG	20 300
SH	11 450

Zródło: opracowanie własne

Analogicznie prawdopodobieństwo działania nieuprawnionego dla okresu jednego roku wynosi:

- Czujnik $P_{cz} = 0,04$;
- Sterownik $P_s = 0,0007$;
- Element wykonawczy $P_{ew} = 0,0001$.

Struktury, które zostały objęte badaniem to:

- Struktura A: czujnik, sterownik, element wykonawczy;
- Struktura B: dwa czujniki (OR), sterownik, element wykonawczy;
- Struktura C: dwa czujniki (AND), sterownik, element wykonawczy;
- Struktura D: dwa czujniki (OR), dwa sterowniki (OR), element wykonawczy;
- Struktura E: dwa czujniki (AND), dwa sterowniki (OR), element wykonawczy;
- Struktura F: dwa czujniki (OR), dwa sterowniki (AND), element wykonawczy;
- Struktura G: dwa czujniki (AND), dwa sterowniki (AND), element wykonawczy;
- Struktura H: trzy czujniki („2 z 3”), sterownik, element wykonawczy.

Przy czym:

- OR oznacza, że wystarczy, aby jeden element wykrył zagrożenie, a system zainicjuje gaszenie (typowa redundancja niezawodnościowa); konfiguracja ta zwiększa prawdopodobieństwo działania uprawnionego, ale również zwiększa prawdopodobieństwo działania nieuprawnionego;
- AND oznacza, że dwa elementy danego typu muszą wykryć zagrożenie, aby system zainicjował akcję gaszenia (potwierdzenie wystąpienia pożaru); konfiguracja ta zmniejsza prawdopodobieństwo działania uprawnionego, ale również zmniejsza prawdopodobieństwo działania nieuprawnionego;
- „2 z 3” oznacza, że dowolne 2 z 3 czujników muszą wykryć zagrożenie, aby system zainicjował gaszenie; konfi-

guracja ta zwiększa, w porównaniu do pojedynczego czujnika, prawdopodobieństwo działania uprawnionego i nieuprawnionego, jednak daje mniejsze wartości tego prawdopodobieństwa niż struktura OR.

Koszty realizacji poszczególnych struktur przedstawione są w tabeli 1.

Przy analizowaniu niezawodności systemów technicznych zazwyczaj brane jest pod uwagę tylko działanie uprawnione. Aby zwiększyć niezawodność tych typowych systemów, stosuje się struktury OR (równoległe), w związku z czym analiza nadmiarowości jest uproszczona i dobrze opisana w literaturze [1, 3, 4, 6]. W omawianym przypadku nie można ograniczyć się tylko do zbadania prawdopodobieństwa działania uprawnionego, lecz należy również wziąć pod uwagę ryzyko działania nieuprawnionego, co powoduje skomplikowanie analizy i prowadzi do wyników wskazujących na opłacalność stosowania układów nietypowych z punktu widzenia np. systemów gaszenia, takich jak struktury progowe „k z n”.

Prawdopodobieństwo poprawnego działania

Poprawne działanie systemu rozumiane jest jako uruchomienie gaszenia w przypadku uprawnionym oraz nieuruchomienie tej procedury w przypadku nieuprawnionym, czyli w momencie zaistnienia fałszywego alarmu.

Korzystając z metod analizy nieuszkodzalności systemów (metoda schematów blokowych nieuszkodzalności) [3], obliczono prawdopodobieństwo działania uprawnionego poszczególnych struktur. Wyniki zebrano w tabeli 2.

Korzystając z Analizy Drzewa Niezdatności [2], obliczono prawdopodobieństwo braku działania nieuprawnionego poszczególnych struktur. Wyniki zebrano w tabeli 3.

Tabela 2. Prawdopodobieństwo działania uprawnionego

Struktura	Prawdopodobieństwo działania uprawnionego
A	0,9893
B	0,9963
C	0,9824
D	0,9987 max
E	0,9849
F	0,9938
G	0,9799 min
H	0,9962

Tabela 3. Prawdopodobieństwo działania nieuprawnionego

Struktura	Prawdopodobieństwo braku działania nieuprawnionego
A	0,9592
B	0,9209
C	0,9976
D	0,9202 min
E	0,9969
F	0,9210
G	0,9977 max
H	0,9945

Tabela 4. Zestawienie analizowanych danych techniczno-ekonomicznych

Struktura	Prawdopodobieństwo działania uprawnionego	Prawdopodobieństwo braku działania nieuprawnionego	Cena elementów składowych systemu w PLN
A	0,9893	0,9592	10150
B	0,9963	0,9209	10150
C	0,9824 kompromis	0,9976 kompromis	10800
D	0,9988 max	0,9202 min	20300
E	0,9849	0,9969	20300
F	0,9938	0,9210	20300
G	0,9799 min	0,9977 max	20300
H	0,9962 kompromis	0,9945 kompromis	11450

Jak widać z tabeli 2 i 3, jednoczesne zapewnienie wysokiego prawdopodobieństwa działania uprawnionego i wysokiego prawdopodobieństwa braku działania nieuprawnionego poprzez redundancję jest nieosiągalne. Redundancja równoległa zwiększa bowiem prawdopodobieństwo jednego i drugiego działania, a redundancja szeregową zmniejsza obydwa rodzaje prawdopodobieństw. Jako kompromis można uznać sytuację, w której poziom jednego i drugiego prawdopodobieństwa jest akceptowalny, choć nie optymalny.

Wnioski

Tabela 4 przedstawia sumaryczne dane dotyczące prawdopodobieństwa działa-

nia uprawnionego i braku działania nieuprawnionego oraz kosztów poszczególnych struktur.

Analizując powyższe dane, można sformułować następujące wnioski:

- najprostsza konfiguracja (struktura A) zapewnia niezbyt wysokie, jednak zrównoważone i mieszczące się w środku przedziałów wartości prawdopodobieństw działania uprawnionego i braku działania nieuprawnionego;
- w przypadku konieczności uzyskania maksymalnej wartości jednego z prawdopodobieństw konieczne jest zastosowanie struktury z dodatkowym sterownikiem i czujnikiem, połączonymi odpowiednio: równoległe (struktura D) dla maksymalizacji prawdopodobieństwa działania uprawnionego lub sze-

regowo (struktura G) dla minimalizacji prawdopodobieństwa działania nieuprawnionego;

- rozwiązania zapewniające kompromisowe wartości prawdopodobieństwa działania uprawnionego i działania nieuprawnionego (struktura H oraz struktura C) nie są jednocześnie rozwiązaniami najdroższymi;
- zastosowanie systemów bardziej skomplikowanych, a przez to droższych, nie zawsze zapewnia uzyskanie zrównoważonych parametrów systemu (struktury E i F);
- w celu wybrania odpowiedniego rozwiązania systemu konieczne jest dokładne określenie stawianych wymagań (wyważenie pomiędzy uprawnionym i nieuprawnionym działaniem).

Literatura

[1] BARBATI S.: *Common reliability analysis methods and procedures*, Reliawind WP2, 2008.

[2] BLISCHKE W., MURTHY D.N.P.: *Reliability Modeling, Prediction and Optimization*, John Wiley&Sons, New York 2000.

[3] KECECIOGLU D.: *Reliability engineering handbook*, DEStech Publications Inc., Lancaster 2002.

[4] KULTUREL-KONAK S., COIT D.W., BAHARANWALA F.: *Pruned pareto-optimal sets for the system redundancy allocation problem based on multiple prioritized objectives*, J. Heuristics, vol. 14, no. 4, 2008.

[5] MIKULIK J.: *Wybrane zagadnienia zapewnienia bezpieczeństwa i komfortu w budynkach*, AGH Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Kraków 2008.

[6] Rausand M, Hoyland A.: *System Reliability Theory: Models, Statistical Methods and Applications*, John Wiley-&Sons, New York 2003.

prof. AGH dr inż. Jerzy Mikulik,
dr inż. Katarzyna Majewska,
dr inż. Marcin Pawlik –
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
w Krakowie, Wydział Zarządzania,
Katedra Inżynierii Zarządzania