

doi:10.15199/48.2021.10.21

Określenie parametrów eksploatacyjnych wybranych elektronicznych systemów bezpieczeństwa na podstawie procesu ich użytkowania w obiektach infrastruktury krytycznej

Streszczenie. W artykule przedstawiono analizę procesu eksploatacji wybranych struktur Systemów Sygnalizacji Pożarowej (SSP) oraz przeprowadzono porównanie właściwości użytkowych ze względu na czasy napraw, rodzaje uszkodzeń elementów oraz urządzeń tych systemów. Na podstawie bazy zdarzeń eksploatacyjnych występujących w wybranych Elektronicznych Systemach Bezpieczeństwa (ESB) wyznaczono średni, minimalny i maksymalny czas naprawy, rodzaje uszkodzeń oraz obliczono odchylenie standardowe czasu naprawy. Na podstawie danych eksploatacyjnych SSP, można wyznaczyć np. intensywność uszkodzeń i napraw.

Abstract. The article presents an analysis of the process maintenance of the selected structures, fire alarm systems (FAS), and a comparison of performance because of the repair times, types of damage to components and equipment in these systems. Based on the database of operational events occurring in selected Electronic Safety Systems (ESS), the average, minimum and maximum repair time, types of damage were determined and the standard deviation of the repair time was calculated. Based on the operating data of the Fire Alarm Systems, for example, can be determined the intensity of damage and repairs. (**Determination of the performance parameters of selected electronic safety systems based on the process of their use in critical infrastructure facilities**).

Słowa kluczowe: automatyka, elektronika i elektrotechnika; elektroniczne systemy bezpieczeństwa, infrastruktura krytyczna
Keywords: automatics, electronics and electrical engineering; electronic security systems, critical infrastructure

Wstęp

Wpływ warunków eksploatacji, tj. użytkowania, obsługi, zasilania a także oddziaływania niesprzyjających czynników środowiskowych zewnętrznych i wewnętrznych dla ESB można wyrazić np. poprzez zmianę parametru intensywności uszkodzeń λ elementów, składowych tworzących system użytkowanych wewnątrz i na zewnątrz budynku IF – rys. 1. [2,7,19]

Intensywność uszkodzeń $\lambda(t)$ dla krótkich przedziałów procesu eksploatacji ESB $\langle t, t+\Delta t \rangle$ można zdefiniować według wyrażenia (1) [2,4,6]

$$(1) \quad \lambda(t) = \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{\Delta t}$$

gdzie: $R(t)$ – funkcja niezawodności elementu, urządzenia ESB w chwili t ; $R(t+\Delta t)$ – funkcja niezawodności elementu, urządzenia wchodzącego w skład ESB w chwili $(t+\Delta t)$. Wtedy intensywność uszkodzeń elementów i urządzeń ESB można określić wyrażeniem (2) [2,4].

$$(2) \quad \lambda(t) = \frac{\delta R(t)}{\delta t} \cdot \frac{1}{R(t)}$$

Funkcję $R(t)$ można wyznaczyć za pomocą zawodności $F(t)$, wtedy $R(t) = 1 - F(t)$. Intensywność uszkodzeń ESB można wtedy przedstawić za pomocą wyrażenia (3) [1,2,6].

$$(3) \quad \lambda(t) = \frac{\delta F(t)}{\delta t} \cdot \frac{1}{R(t)}$$

Ponieważ ESB składają się z elementów i urządzeń elektronicznych o dużej niezawodności, oraz stosowane są w systemie różnego rodzaju nadmiarowości dlatego $R(t) \rightarrow 1$. Wtedy możemy wyznaczyć intensywność uszkodzeń $\lambda(t)$ za pomocą wyrażenia (4) [5,9,12]

$$(4) \quad \lambda(t) = \frac{\delta F(t)}{\delta t} = \frac{\delta F(t)}{\delta X} \cdot \frac{\delta X}{\delta t}$$

gdzie: X – zapas wytrzymałości elementów, urządzeń ESB; X - wytrzymałość: np. zakłóceniuowa X_Z ; mechaniczna X_M ; elektryczna X_E ; cieplna X_C poszczególnych elementów.

Elementy oraz urządzenia ESB zawierają dużą liczbę elementów czynnych i biernych o różnym stopniu posiadanego zapasu wytrzymałości na: zakłócenia elektromagnetyczne, środowiskowe, elektryczne, ciepłe i mechaniczne wytwarzane w sposób zamierzony lub niezamierzony – rys. 2 [2,14,30]. Wytrzymałości te ulegają zmianie pod wpływem różnych czynników wymuszających środowiskowych – temperatura, wilgotność, itd. Dlatego zapas X wytrzymałości dla wszystkich elementów i urządzeń ESB można zapisać za pomocą wyrażenia (5)

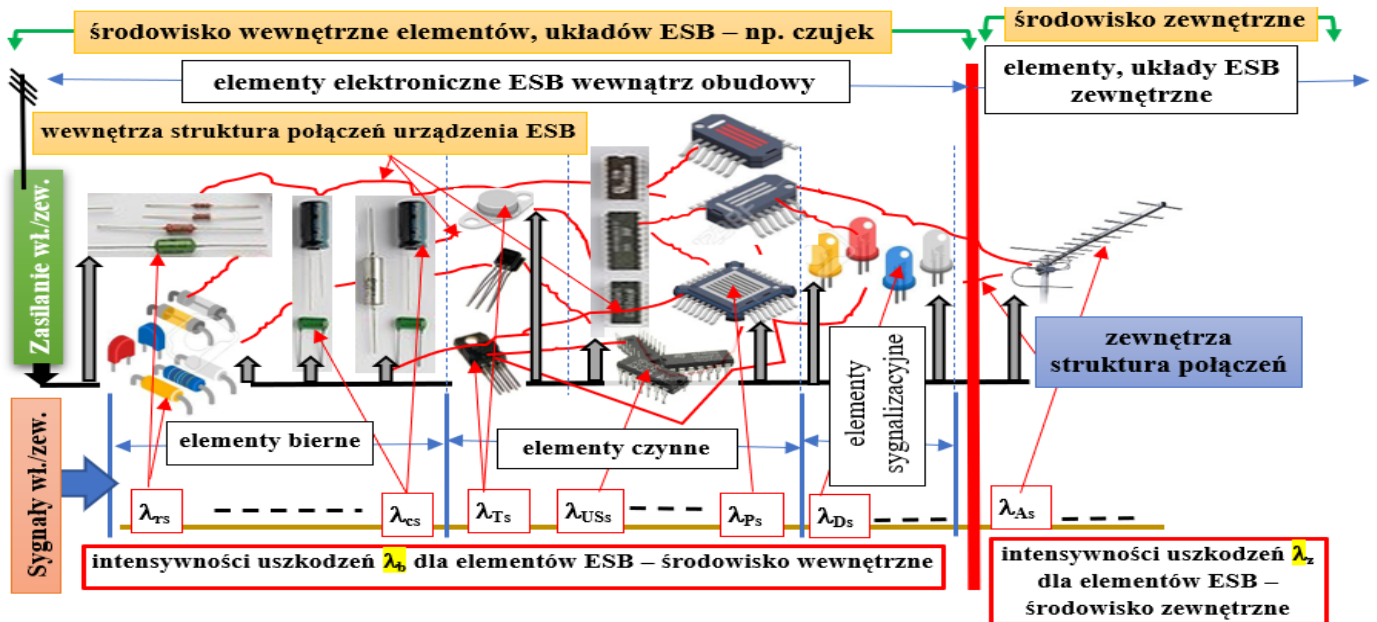
$$(5) \quad X = \sum_{i=1}^k X_i$$

gdzie: X_i – zapas wytrzymałości dla poszczególnych elementów składowych tworzących urządzenia ESB (np. tranzystory, rezystory, układy scalone, mikroprocesory, itp.).

Uwzględniając zapasy wytrzymałości na różnego rodzaju wymuszenia zewnętrzne i wewnętrzne intensywność uszkodzeń $\lambda(t)$ dla ESB możemy określić za pomocą wyrażenia (6)

$$(6) \quad \lambda(t) = \frac{\delta F(t)}{\delta X_Z} \cdot \sum_{i=1}^{k_z} \frac{\delta X_Z}{\delta t} + \frac{\delta F(t)}{\delta X_m} \cdot \sum_{i=1}^{k_m} \frac{\delta X_m}{\delta t} + \frac{\delta F(t)}{\delta X_E} \cdot \sum_{i=1}^{k_E} \frac{\delta X_E}{\delta t} + \frac{\delta F(t)}{\delta X_C} \cdot \sum_{i=1}^{k_C} \frac{\delta X_C}{\delta t}$$

W zależności (6) na intensywność uszkodzeń $\lambda(t)$ dla ESB występujące we wzorze funkcje określają przykładowo następujące zmiany: $\sigma X / \sigma t$ określa szybkość zmian zapasu wytrzymałości elementu pod wpływem zachodzących w nim procesów degradacyjnych, $(\sigma X_Z) / \sigma t$ określa szybkość zmian zapasu wytrzymałości elementu pod wpływem oddziaływujących zakłóceń, $(\sigma F(t)) / \sigma X$ określa szybkość zmian zawodności ESB w wyniku zmian jego wytrzymałości elektrycznej, mechanicznej, chemicznej, itd., $(\sigma F(t)) / (\sigma X_Z)$ określa szybkość zmian zawodności ESB pod wpływem np. zakłóceń elektromagnetycznych [14, 15, 21].

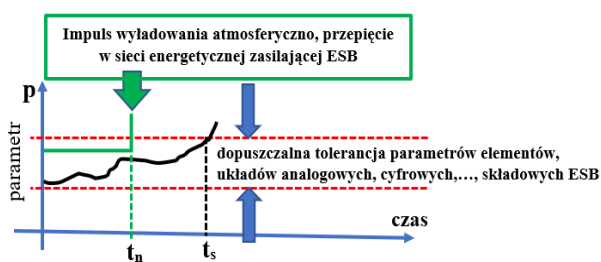


Rys.1. Wewnętrzna struktura ESB, gdzie: λ_{Ts} , λ_{cs} , ..., λ_{Us} , λ_{Ps} intensywności uszkodzeń elementów biernych i czynnych systemu

W literaturze zmianę intensywności uszkodzeń $\lambda(t)$ wyznacza się także za pomocą współczynnika k_λ . Współczynnik ten wykorzystywany jest do analizy wpływu np. środowiska atmosferycznego w którym są użytkowane ESB – rys. 1. Wskazuje on wartość liczbową, o ile razy rzeczywista intensywność uszkodzeń λ_{rz} w danych warunkach eksploatacji ESB (np. temperatura, wilgotność, ciśnienie, środowisko elektromagnetyczne, itd.) jest większa lub mniejsza w porównaniu nominalną wyznaczoną w warunkach laboratoryjnych [2,12,27,30]. Natomiast samą zmianę intensywności uszkodzeń $\lambda(t)$ można zapisać jako wyrażenie (7) [2,6,30].

$$(7) \quad k_\lambda = \frac{\lambda_{rz}}{\lambda}$$

gdzie: k_λ - współczynnik intensywności uszkodzeń ESB, λ_{rz} - rzeczywista intensywność uszkodzeń ESB, λ - intensywność uszkodzeń ESB w warunkach laboratoryjnych.



Rys.2. Zmiana parametrów ESB pod wpływem czasu, gdzie: t_n - czas wystąpienia uszkodzenia katastroficznego, t_s - czas wystąpienia tzw. uszkodzeń starzeniowych

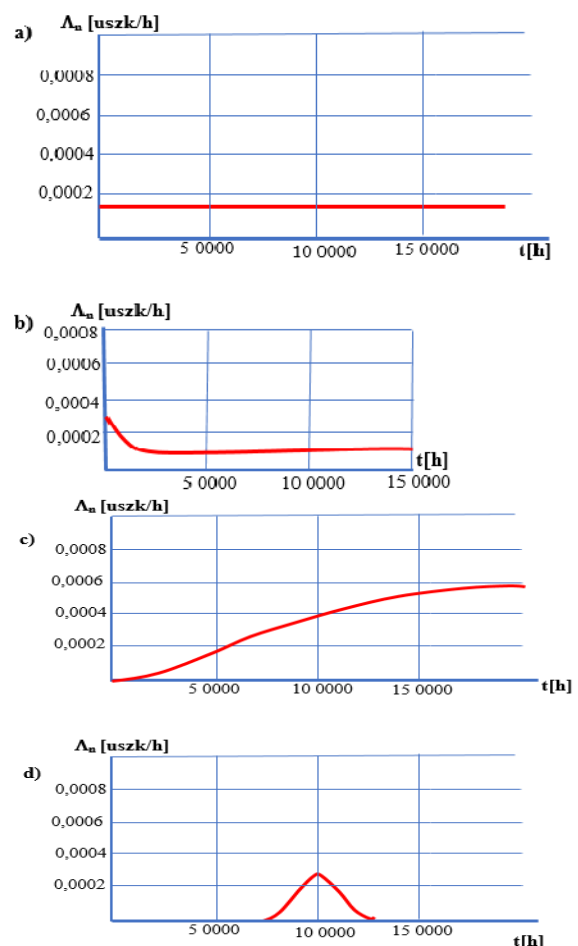
Rzeczywistą intensywność uszkodzeń elementów, układów występujących w ESB można wówczas wyznaczyć za pomocą wyrażenia (8).

$$(8) \quad \lambda_{nrz} = k_\lambda \cdot \lambda$$

Dla urządzeń i systemów elektronicznych naprawialnych, a takimi są ESB rzeczywistą intensywność uszkodzeń można wyznaczyć za pomocą wyrażenia (9) [2,6,9]

$$(9) \quad \Lambda_{nrz} = k_\lambda \cdot \Lambda_n$$

Na rys. 3 przedstawiono intensywności uszkodzeń $\lambda(t)$ elementów ESB eksploatowanych w różnych warunkach.

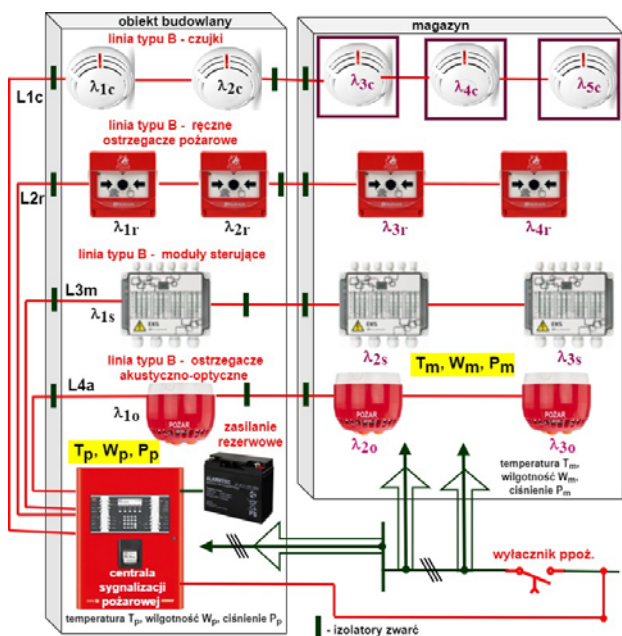


Rys.3. Przebiegi intensywności uszkodzeń $\lambda(t)$ dla elementów ESB użytkowanych w różnych warunkach środowiskowych, a) warunki środowiskowe zewnętrzne polowe, b) elementy, urządzenia ESB o niestabilizowanych procesach produkcyjnych, c) trudne warunki eksploatacyjne ESB – tzw. forsowne, d) warunki eksploatacji ESB laboratoryjne [3,6,9,25,30].

Wybrane zagadnienia procesu eksploatacji SSP

Podczas eksploatacji ESB występuje zjawisko zmiany parametrów technicznych, tzw. starzenie – rys. 4. Jest to tak zwane starzenie elementów, układów elektronicznych, które tracą swoje właściwości np. pod wpływem zmian temperatury, wilgotności, zanieczyszczeń środowiska oraz napięć, prądów roboczych. W chwili t_s może wystąpić uszkodzenie elementu lub układu ESB spowodowane np. procesem starzenia – rys. 4 [8,16,17].

jące się na liniach dozоровych oraz w strefach pożarowych są wydzielone za pomocą tzw. izolatorów zwarć (IZ) [6,7].



Rys.4. Skłupiony SSP z liniami dozоровymi, zasilany z sieci energetycznej [2,6,7]

Analiza danych eksploatacyjnych dla wybranych SSP

Analiza procesu eksploatacji SSP została przeprowadzona na danych z dzienników zdarzeń dla 10 różnych ESB pracujących w obiektach IK. Wszystkie te obiekty zlokalizowane są na terenie jednego kraju a więc przyjęto założenie, że pracowały w zbliżonych warunkach środowiskowych. Na podstawie ponad 80 000 wpisów z dzienników zdarzeń pochodzących z SSP – (wyróżniono te systemy z ogólnej liczby ESB) różnych producentów zaobserwowano najczęściej powtarzające się awarie elementów tych systemów, oraz sposoby usunięcia usterki co zostało przedstawione w tabeli 1.

Na podstawie zabranych danych oraz rozmowach z osobami nadzorującymi proces eksploatacji zauważono, że dane uszkodzenie może najczęściej wystąpić na skutek:

- czynnika ludzkiego, np. mechaniczne uszkodzenie linii/pętli podczas remontu budynku [2,28,29];
- warunków środowiskowych temperatura, wilgotność lub zanieczyszczenie powietrza [10,24];
- zaników, zapadów i uderów zasilania, wyładowań atmosferycznych które mogą powodować uszkodzenia wrażliwych elementów elektronicznych SSP [3,6,10,23,25];
- nieprawidłowy projekt SSP lub niezgodna z zaleceniami producenta instalacja poszczególnych podzespołów SSP a także starzenia się elementów SSP i wady produkcyjne elementów SSP [6,13,18,30].

ESB eksploatowane są w zróżnicowanych warunkach środowiskowych. Na rys. 4 przedstawiono SSP eksploatowany w dwóch różnych obiektach. Wtedy występują dwa różne środowiska charakteryzujące się zmianami temperatury T_m [°C], W_m wilgotności [%] oraz P_m ciśnienia [hPa] [6,11,19,20].

Zmiany w/w parametrów środowiskowych są powodem występowania różnych wartości intensywności uszkodzeń λ dla poszczególnych elementów składowych SSP. Poszczególne elementy znajdują

Tabela 1. Najczęstsze awarie elementów SSP i sposoby ich usuwania

Lp.	Rodzaj uszkodzenia	Rodzaje możliwych naprawy
1.	Zakłócenie linii/pętli	-reset CSP; -poprawa przyłączenia linii do złącz centrali; -wymiana przewodów linii/pętli dozоровej;
2.	Doziemienie linii/pętli	-reset CSP; -wymiana przewodów linii/pętli dozоровej;
3.	Przerwa w linii/pętli dozоровej	-reset CSP; -wymiana przewodów linii/pętli dozоровej; -lokalizacja i wymiana uszkodzonego elementu SSP;
4.	Awaria CSP	-reset CSP; -wymiana CSP;
5.	Reset procesora CSP	-jeśli awaria powtarza się często, wymiana CSP;
6.	Koniec papieru w CSP	-wymiana rolki papieru w drukarce dziennika zdarzeń;
7.	Awaria czujki	-reset CSP; -wymiana czujki; -wymiana przewodów linii/pętli dozоровej
8.	Awaria ROP	-reset CSP; -wymiana ROP; -wymiana przewodów linii/pętli dozоровej
9.	Niezadeklarowany element w linii	-reset CSP; -wprowadzenie do systemu CSP nowego urządzenia;
10.	Załączony izolator zwarć	-reset CSP; -lokalizacja i wymiana uszkodzonego elementu SSP;
11.	Brak zasilania 230V	-przywrócenie zasilania w budynku, np. poprzez wymianę/przełączenie bezpiecznika
12.	Rozładowanie/uszkodzenie akumulatorów zasilania awaryjnego	-wymiana akumulatora lub baterii akumulatorów; -wymiana modułu ładowania lub całej CSP; -zwiększenie pojemności baterii akumulatorów
13.	Alarm przy braku pożaru lub brak alarmu w czasie pożaru lub testów czujki (fałszywy alarm, fałszywy spokój)	-wymiana czujki;
14.	Brak dźwięku lub niewystarczające jego natężenie w ostrzegaczach akustycznych	-wymiana ostrzegacza akustycznego;
15.	Brak światła lub niewystarczające jego natężenie w ostrzegaczach optycznych i oświetleniu awaryjnym	-wymiana ostrzegacza akustycznego; -wymiana elementów oświetlenia awaryjnego.

W dalszych obliczeniach powyższe czynniki nie zostały uwzględnione, ponieważ większość dostępnych na rynku SSP nie zapisuje tych informacji w dzienniku zdarzeń,

a osoby eksploatujące lub serwisujące te systemy najczęściej nie prowadzą notatek czy statystyk przyczyn awarii i sposobów ich usunięcia [11,28]. Ewentualny źródłem takich danych mogłaby być np. książka meldunków oficera dyżurnego jednostki wojskowej, lub po prostu obowiązek prowadzenia dodatkowego dziennika zdarzeń dla systemu [3,6,18,21]. Dzięki połączeniu klasycznych danych eksploatacyjnych z takim dziennikiem możliwe by było dokładniejsze analizowanie przyczyn awarii, udoskonalanie systemów SSP lub jego elementów [6,21,22]. Na podstawie zebranych danych eksploatacyjnych zostały obliczone czasy naprawy poszczególnych elementów składowych SSP w następujących krokach:

- znalezienie wpisu zawierającego informację o uszkodzeniu w dzienniku zdarzeń;
- zanotowanie nazwy uszkodzonego elementu oraz daty i godziny nastąpienia awarii [15,26];
- wyszukanie w kolejnych wpisach informacji o naprawie elementu z pkt. 2;
- odczytanie daty i godziny naprawy oraz obliczenie różnicy czasów uszkodzenia i naprawy;
- zanotowanie otrzymanej wartości jako czas naprawy elementu X, np. czujka dymu optyczna.

Na rys. 5 przedstawiono fragment dziennika zdarzeń jednego z analizowanych SSP. Można zauważyć, że wpis nr 1984 zawiera informację o uszkodzeniu elementu nr 13 na linii nr 5, tym elementem jest EWS - a więc element sterujący różnymi urządzeniami automatyki pożarnej. Analizując kolejne wpisy zauważamy, że 5 minut później nastąpiło potwierdzenie awarii przez operatora (wpis nr 1985), a całkowite usunięcie awarii nastąpiło po 32 minutach (wpis nr 1988). Aby przeanalizować proces eksploatacji danego SSP należy powtórzyć opisaną wyżej procedurę tyle razy, ile uszkodzeń wystąpiło np. w danym okresie czasu np. jednego roku.

W skali roku dzienniki zdarzeń mogą zawierać od kilku na kilkudziesięciu tysięcy wpisów.

Sukcesywne ręczne obliczanie tych czasów jest bardzo nieefektywne, w związku z czym opracowane została aplikacja komputerowa wspomagająca ten proces – pod nazwą „Analizator danych z Elektronicznych Systemów Bezpieczeństwa - AdESB” – rys. 6.

```

-----
---1988---
USZKODZENIE USUNIĘTE !
L:5 E:13 EWS NR:36
NIEDOZWOL. KOD USZK NA BICIE B4 !
2020-12-29 / 15:24:47
-----

---1987---
POTWIERDZENIE !
2020-12-29 / 15:24:31
-----

---1986---
USZKODZENIE !
NIEZADEKLAROWANE ELEMENTY W LINII !
LINIA DOZOROWA NR 5
2020-12-29 / 15:24:23
-----

---1985---
POTWIERDZENIE !
2020-12-29 / 15:24:20
-----

---1984---
USZKODZENIE !
L:5 E:13 EWS NR:36
NIEDOZWOL. KOD USZK NA BICIE B4 !
2020-12-29 / 15:24:15
-----

```

Typ	Producent	Wzrosty	Nr	Idz	Lokalizacja w budynku
Całkowita energia GZ OT	Honeywell	13412426741	Grupa 107	Całkowita 1	PRACOWNIA WIEZI CEPLIWA
Całkowita energia GZ OT	Honeywell	10702340388	Grupa 10	Całkowita 2	PRACOWNIA WIEZI CEPLIWA
Całkowita energia GZ OT	Honeywell	10702340388	Grupa 10	Całkowita 1	PRACOWNIA WIEZI CEPLIWA
Całkowita energia GZ OT	Honeywell	13910291704	Grupa 2	Całkowita 11	POD OCHRONA
Całkowita energia GZ OT	Honeywell	13910291704	Grupa 2	Całkowita 7	PRZED POM OCHRONY
Moduł ESK 12R 12 wolt 1A/20V	Honeywell	400110702	Grupa 3	Całkowita 5	TRZYKONCIE
Moduł ESK 12R 12 wolt 1A/20V	Honeywell	400110702	Grupa 3	Całkowita 4	DISO
Moduł ESK 4K2R AT 4 woltów 2 woltów	Honeywell	431012028	Grupa 3	Całkowita 3	PETRA 01 1"
Moduł ESK 4K2R AT 4 woltów 2 woltów	Honeywell	431012049	Grupa 3	Całkowita 2	PETRA 01 1"
Moduł ESK 4K2R AT 4 woltów 2 woltów	Honeywell	431012062	Grupa 3	Całkowita 1	PETRA 01 1"

Rys.5. Fragment dziennika zdarzeń systemu SSP jednego z obiektów IK (szpital)

Rys.6. Zrzut ekranu aplikacji do analizowania danych eksploatacyjnych

Na obecną chwilę aplikacja AdESB w wersji stabilnej, ma następujące funkcjonalności:

- otwieranie plików *.csv opisujących elementy składowe SSP oraz wyświetlenie elementów składowych systemu w formie przewijanej tabeli;
- obliczanie i wyświetlanie ilości elementów danego typu w systemie i otwieranie plików *.csv zawierających dziennik zdarzeń z SSP;
- wyświetlenie dziennika zdarzeń w formie przewijanej tabeli, kolorowanie rekordów zawierających informacje o uszkodzeniach i naprawie;
- obliczanie czasów napraw poszczególnych elementów i zapisywanie wyników w formie plików *.csv, w celu dalszej analizy (np. generowanie wykresów w programie Excel).

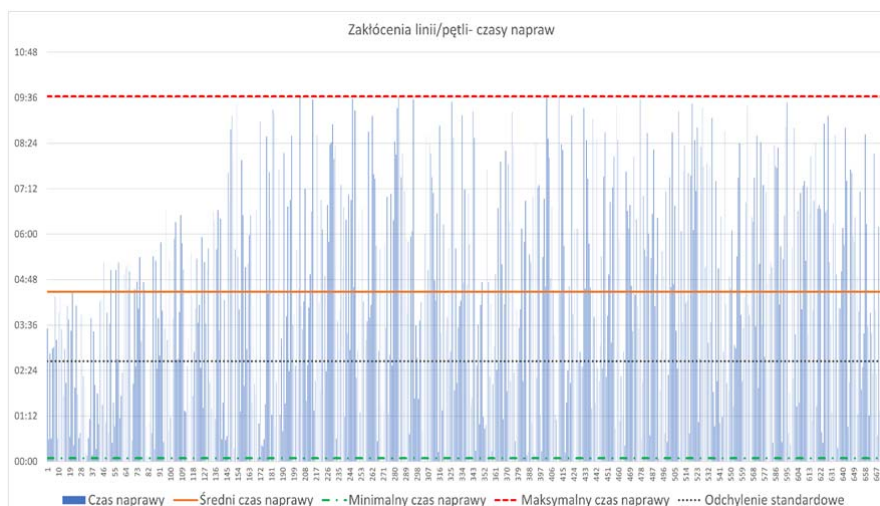
W najbliższej przyszłości aplikacja zostanie rozwinęta o inne następujące funkcjonalności np. analizowania danych z innych ESB, obliczanie współczynników nieuszkodzalności, gotowości, intensywności uszkodzeń i napraw oraz generowanie danych statystycznych do formatu *.csv, aby wykorzystać obliczone współczynniki w symulacjach procesu eksploatacji. Za pomocą autorskiego programu AdESB obliczone zostały czasy napraw dla 10 różnych SSP użytkowanych w obiektach IK.

Obliczone zostały wartości średnie oraz minimalne i maksymalne czasy napraw. Dla tych danych czasów naprawy wyznaczono odchylenie standardowe. Przykładowe wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 2.

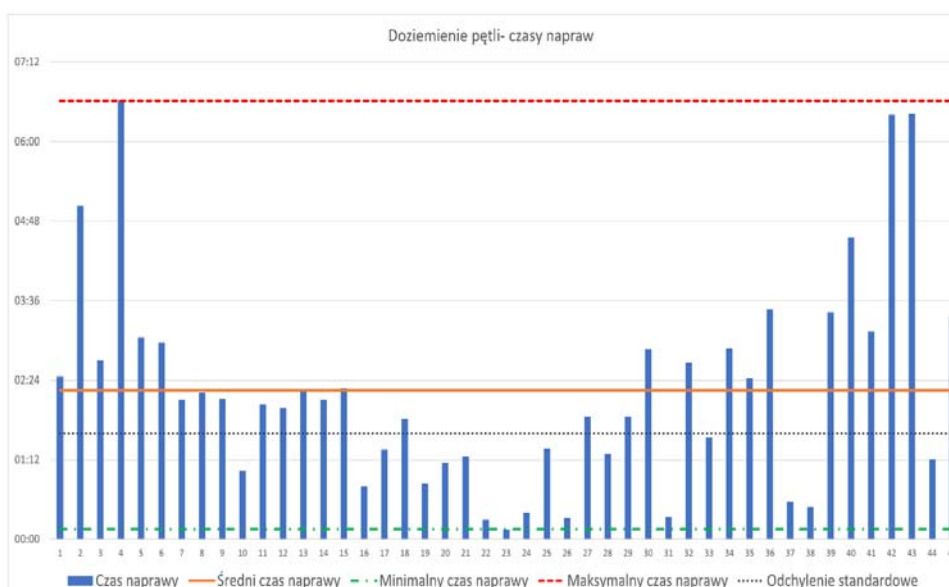
W dalszej części artykułu przedstawiono wykresy, wyniki obliczeń oraz analizę danych dla dziesięciu zbadanych SSP użytkowanych w obiektach IF – odpowiednio rys. 7 – 10. Wykresy przedstawiają odpowiednio czasy napraw, średnie czasy napraw, minimalne i maksymalne czasy napraw oraz odchylenie standardowe z podziałem na rodzaj niezdatności występującej w SSP.

Tabela 2. Obliczone przykładowe czasy napraw dla uszkodzenia typu "Brak zasilania 230V"

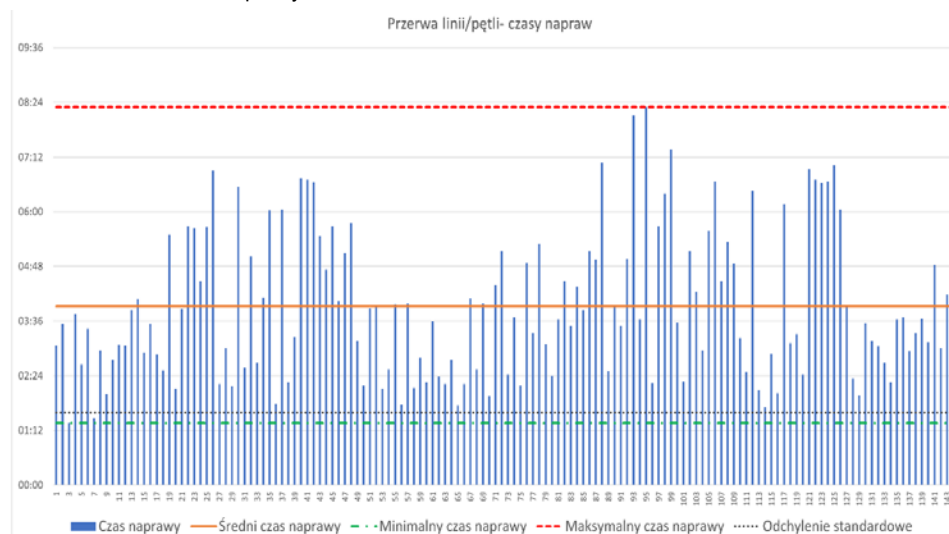
Lp.	Minuty	GG:MM
1	211	03:31
2	35	00:35
3	171	02:51
4	36	00:36
5	179	02:59
6	181	03:01
7	261	04:21
8	193	03:13
9	37	00:37
10	236	03:56
11	264	04:24
12	209	03:29



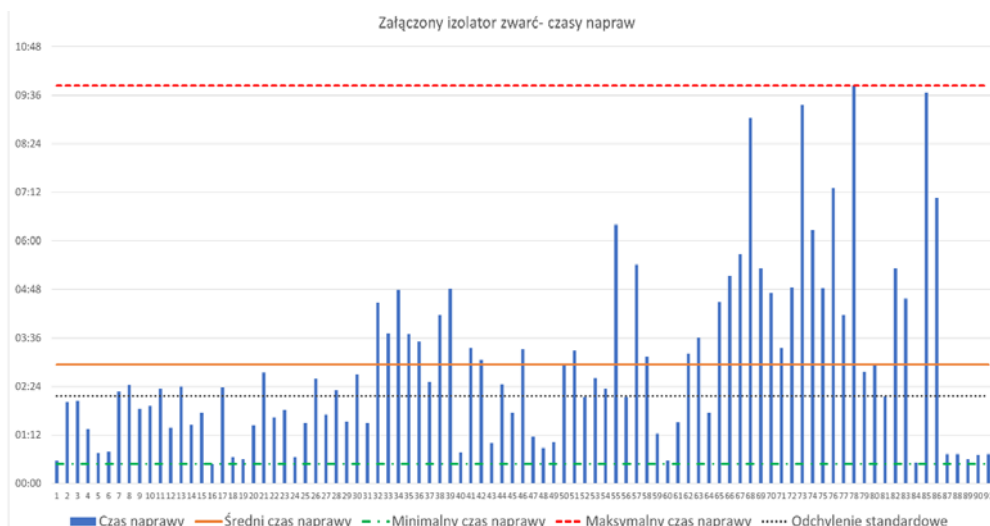
Rys. 7. Czasy napraw dla uszkodzenia typu „Zakłócenie linii/pętli” dla 10 badanych SSP. Dla uszkodzeń typu „Zakłócenie linii/pętli” w 10 badanych SSP uzyskano następujące wartości - średni czas naprawy: 4 h 28 min., minimalny czas naprawy: 5 min., maksymalny czas naprawy: 9 h 38 min., a odchylenie standardowe czasu naprawy: 2 h 38 min.



Rys. 8. Czasy napraw dla uszkodzenia typu „Doziemienie pętli” dla 10 badanych SSP. Dla uszkodzeń „Doziemienie/pętli” w 10 badanych SSP uzyskano następujące wartości - średni czas naprawy: 2 h 15 min., minimalny czas naprawy: 9 min., maksymalny czas naprawy: 6 h 37 min., a odchylenie standardowe czasu naprawy: 1 h 35 min.



Rys. 9. Czasy napraw dla uszkodzenia typu „Przerwa linii/pętli” dla 10 badanych SSP. Dla uszkodzeń „Przerwa linii/pętli” w 10 badanych SSP uzyskano następujące wartości - średni czas naprawy 3 h 35min., minimalny czas naprawy 1 h 22 min., maksymalny czas naprawy 8 h 18 min., a odchylenie standardowe czasu naprawy 1 h 35 min.



Rys. 10. Czasy napraw dla uszkodzenia typu „Załączony izolator zwarc” dla 10 badanych SSP. Dla uszkodzeń „Załączony izolator zwarc” w 10 badanych SSP uzyskano następujące wartości - średni czas naprawy 2 h 56 min., minimalny czas naprawy 29 min., maksymalny czas naprawy 9 h 50 min., a odchylenie standardowe czasu naprawy 2 h 9 min.

Tabela 3. Zbiorczy wykaz niezdatności dla 10 badanych SSP użytkowanych w obiektach IK

	Zakłócenia linii pętli	Doziemienie pętli	Przerwa linii	Koniec Papieru	Załączony izolator zwarc	Brak zasilania 230V
Obiekt 1	87	6	13	2	27	13
Obiekt 2	58	-	3	1	15	15
Obiekt 3	89	14	8	2	12	10
Obiekt 4	43	-	24	1	-	19
Obiekt 5	56	9	16	1	-	-
Obiekt 6	35	-	23	2	-	11
Obiekt 7	64	10	13	2	12	8
Obiekt 8	43	-	26	1	-	-
Obiekt 9	103	6	13	1	20	-
Obiekt 10	66	-	5	3	5	15

Wnioski

Analiza zdarzeń eksploatacyjnych w SSP z uwzględnieniem dziennika zdarzeń CSP jest dosyć czasochłonna i pracochłonna uwzględniając ilość zdarzeń występujących w systemie oraz ich chronologiczny czasowo zapis w pamięci CSP. Poszczególni producenci różnych SSP stosują różne formy zapisu tych zdarzeń eksploatacyjnych, które należałoby ujedynolnić. Opracowana aplikacja komputerowa AdESB umożliwi automatyczną identyfikację danych rekordów odpowiedzialnych za niezdatność danego elementu czy urządzenia występującego SSP. Wyznaczenie czasu do uszkodzenia czy naprawy dla poszczególnych elementów użytkowanych w SSP umożliwi predykcję wskaźników - intensywności uszkodzeń oraz odnowy. Autorzy artykułu pozyskali ponad 80 000 miarodajnych wpisów z rejestru zdarzeń eksploatacyjnych z dziesięciu różnych SSP użytkowanych w obiektach IK. Opracowana analiza procesów użytkowania SSP (czasy do uszkodzenia, czasy napraw, nazwa elementów uszkodzonych – czujki, moduły, itd.) umożliwi odpowiednią organizację grup serwisowych oraz ich wyposażenie w podstawowe części zapasowe które najczęściej ulegają awarii w systemie. Umożliwi to wyposażenie i budowę tzw. magazynów podręcznych serwisowych gdzie będą znajdować się najczęściej uszkodzane elementy czy urządzenia SSP. Analizując schemat systemu i niezdatności występujące w SSP oraz fizykę uszkodzeń danych elementów można określić przyczynę wystąpienia uszkodzenia. Takich analiz dla SSP użytkowanych w budynkach IK nie prowadzi się, dokonując

najczęściej wymian elementów na nowe. Przeprowadzając analizę niezdatności dla wybranych SSP do najczęściej pojawiającej się można zaliczyć uszkodzenie typu „zakłócenie pętli” zgłoszone przez CSP – 644 uszkodzenia, natomiast najmniej zgłoszeń otrzymano dla zdarzenia „koniec papieru w drukarce CSP”, tylko 16. Najdłuższy czas potrzebny do usunięcia awarii zaobserwowano w SSP pracującym w obiekcie nr 9. Czas potrzebny do usunięcia awarii wyniósł aż 9 godzin 50 minut, co dla SSP użytkowanych w obiektach IK jest niedopuszczalne. Najszybciej usuniętą awarią był jednogodzinowy zanik zasilania 230 V. Najczęstszym, skutecznym sposobem usuwania awarii dla wszystkich SSP był reset CSP. Na czas naprawy wpływ ma godzina w której nastąpiła awaria co dla SSP użytkowanych w obiektach IK jest niedopuszczalne. Awarie które miały miejsce w godzinach nocnych usuwane były dłużej od tych które występowały w dzień. Najprawdopodobniej związane jest to z nieobecnością w godzinach nocnych osób obsługujących i nadzorujących SSP. Rozpatrywane SSP zbudowane były w odmiennych konfiguracjach, a same urządzenia były różnych producentów. Z tego powodu nie wszystkie typy uszkodzeń występowały w kolejnych SSP. Średnio każdy rozpatrywany SSP posiadał na rozpatrywany okres użytkowania 103 awarie. Najmniej awaryjnym systemem był ten zamontowany w obiekcie nr 8 (łącznie 70 awarii), najbardziej awaryjny system w obiekcie nr 1 (łącznie 148 awarii). Rozpatrując statystykę niezdatności, czas naprawy oraz odchylenia standardowe dla w/w parametrów można znacząco usprawnić proces użytkowania SSP.

Praca została sfinansowana/dofinansowana przez Wojskową Akademię Techniczną w ramach projektu nr UGB 22-850.

Autorzy: mgr. inż. Krzysztof Jakubowski, Narodowe Centrum Bezpieczeństwa Cyberprzestrzeni, ul. gen. Buła 1, 05-119, Legionowo, E-mail: krzysztof.jakubowski.wel@gmail.com; dr hab. inż. Jacek Paś, Wojskowa Akademia Techniczna, ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908, Warszawa, E-mail: jacek.pas@wat.edu.pl

LITERATURA

- [1]. R. Billinton, R.N. Allan, Reliability evaluation of power systems. New York: Plenum Press, 1996, pp. 25-59.
- [2]. J. Dyduch, J. Paś, A. Rosiński, The basic of the exploitation of transport electronic systems. Radom: Publishing House of Radom University of Technology, 2011, pp. 24-104.
- [3]. J. Paś, A. Rosiński, Selected issues regarding the reliability-operational assessment of electronic transport systems with regard to electromagnetic interference. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 19 (3), 2017. pp. 375–381. DOI: 10.17531/ein.2017.3.8.
- [4]. A. Rosiński, Modelling the maintenance process of transport telematics systems, Warsaw: Publishing House Warsaw University of Technology, 2015, pp. 24-49.
- [5]. M. Siergiejczyk, A. Rosiński, P. Dziula, K. Krzykowska, Reliability-exploitation analysis of highway transport telematics systems. *Journal Of KONBiN* no 1(33)2015, 2015, pp. 177–186.
- [6]. J. Paś, T. Klimczak, 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, <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2019.4.3>.
- [7]. T. Klimczak, J. Paś, Basics of exploitation of fire alarm systems in transport facilities, Military University of Technology, Warsaw 2020, pp. 25-140.
- [8]. W.K. Chow, Performance-based approach to determining fire safety provisions for buildings in the Asia-Oceania regions, 2015, *Building and Environment* 91: pp. 127-137, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.04.007>
- [9]. L. J. Ding, , F. Khan, X. Li, S. Wan, Quantitative fire risk assessment of cotton storage and a criticality analysis of risk control strategies. *Fire and Materials* 44: pp. 165–179, 2020, <https://doi.org/10.1002/fam.2761>
- [10]. S.W. Jee, CH. Lee, S.K. Kim, J.J. Lee, P-Y. Kim, Development of a Traceable Fire Alarm System Based on the Conventional Fire Alarm System. *Fire Technology* 50(3), 2014, pp.805-822, <https://doi.org/10.1007/s10694-012-0299-0>
- [11]. T. Klimczak, J. Paś, Reliability and operating analysis of transmission of alarm signals of distributed fire signaling system. *Journal of KONBIN* 49(1), 2019, pp. 165-174. <https://doi.org/10.2478/jok-2019-0009>
- [12]. AK. Verma, S. Ajit, DR. Karanki, Reliability and safety engineering. Springer, London 2010.
- [13]. M. Stawowy, K. Perlicki, M. Sumiła, Comparison of Uncertainty Multilevel Models to Ensure ITS Services. In: Cepin M, Radim B (eds) *Safety and Reliability - Theory and Applications: Proceedings of ESREL 2017*, (2017) CRC Press/Balkema, pp. 2647-2652.
- [14]. J. Paś, Shock a disposable time in electronic security systems. *Journal of KONBiN* 2(38), 2016, pp. 5-31, DOI 10.1515/jok-2016-0016
- [15]. S. Duer, R. Duer, S. Mazuru, Determination of the expert knowledge base on the basis of a functional and diagnostic analysis of a technical object, Romanian Association of Nonconventional Technologies XX (2), 23-29 (2016).
- [16]. S. Duer,; K. Zajkowski, M. Harničárová, H.Charun,; D. Bernatowicz, Examination of Multivalent Diagnoses Developed by a Diagnostic Program with an Artificial Neural Network for Devices in the Electric Hybrid Power Supply System "House on Water". *Energies* 2021, 14, 2153, doi:10.3390/en14082153.
- [17]. K. Jakubowski, J. Paś, 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, pp. 1 – 20.
- [19]. J. Paś, T. Klimczak, Modeling of the process of selected fire signaling systems, *Diagnostyka*, 2019, Vol. 20, No. 4, DOI: 10.29354/diag/113047, pp. 1-8.
- [20]. M. Wasiak, I. Jacyna-Golda, K. Markowska, R. Jachimowski, M. Kłodawski, M. Izdebski, The use of a supply chain configuration model to assess the reliability of logistics processes. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 21(3), pp. 367–374. 2019, DOI: 10.17531/ein.2019.3.2.
- [21]. R. Burdzik, Ł. Konieczny, T. Figlus, Concept of on-board comfort vibration monitoring system for vehicles. In: *Activities of Transport Telematics*, Berlin: Springer, pp. 418-425. 2013, DOI:10.1007/978-3-642-41647-7_51.
- [22]. P. Dziula, J. Paś, Low Frequency Electromagnetic Interferences Impact on Transport Security Systems Used in Wide Transport Areas, *TransNav the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Volume 12, Number 2, 2018, DOI: 10.12716/1001.12.02.04, pp. 251-258.
- [23]. S. Duer, S. Scaticailov, J. Paś, R. Duer, D. Bernatowicz, Taking decisions in the diagnostic intelligent systems on the basis information from an artificial neural network, 22nd International Conference on Innovative Manufacturing Engineering and Energy - IManE&E 2018, MATEC Web of Conferences 178, 07003 (2018), <https://doi.org/10.1051/mateconf/201817807003>; 2018; pp.1-6; Volume 178, 2018.
- [24]. S. Duer, Artificial neural network in the control process of object's states basis for organization of a servicing system of a technical objects. *Neural Computing & Applications*. 2012, Vol. 21, No. 1, pp. 153-160.
- [25]. J. Paś, A. Rosiński, M. Chrzan, K. Białek, Reliability-Operational Analysis of the LED Lighting Module Including Electromagnetic Interference, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, pp. 2747-2758, Volume: 62, Issue: 6, DOI: 10.1109/TEM.2020.2987388
- [26]. S. Duer, K. Zajkowski, Taking decisions in the expert intelligent system to support maintenance of a technical object on the basis information from an artificial neural network. *Neural Computing & Applications*. 2013, Vol. 23, No. 7, pp. 2185-2197.
- [27]. A.K. Verma, A. Ajit,; D.R. Karanki, Reliability and Safety Engineering; pp. 43-59, Springer: London, UK, 2010
- [28]. E. Kozłowski, A. Borucka, A. Świdorski, Application of the logistic regression for determining transition probability matrix of operating states in the transport systems. *Eksploatacja i Niezawodn. Maint. Reliab.* 2020, 22, pp. 192–200.
- [28]. M. Stawowy, Method of Multilayer Modeling of Uncertainty in Estimating the Information Quality of ICT Systems in Transport; Publishing House Warsaw University of Technology: Warsaw, pp. 58–96, Poland, 2019.
- [29]. M. Stawowy, (2015), Comparison of Uncertainty Models of Impact of Teleinformation Devices Reliability on Information Quality. W: (red.), T. Nowakowski, M. Młyńczak, A. Jodejko-Pietruczuk, S. Werbińska-Wojciechowska, Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2014, pp. 2329-2333. CRC Press/Balkema, pp. 22-28.
- [30]. A. P. Dempster, Upper and Lower Probabilities Inducted by a Multi-valued Mapping. *The Annals of Mathematical Statistics* 38, pp. 325-339, USA 1967.