

dr inż. KAZIMIERZ MIŚKIEWICZ
dr inż. ANTONI WOJACZEK
Politechnika Śląska
Katedra Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa
mgr inż. PIOTR WOJTAS
Instytut Technik Innowacyjnych EMAG

Analiza niezawodności systemu łączności alarmowo-rozgłoszeniowej na przykładzie systemu SAT

System łączności alarmowo-rozgłoszeniowej jest ważny z punktu widzenia bezpiecznego funkcjonowania podziemnych zakładów górniczych i z tego względu istotna jest znajomość jego niezawodności. Artykuł jest próbą oceny niezawodności systemu łączności alarmowo-rozgłoszeniowej na podstawie rejestracji zdarzeń w komputerach będących składnikiem takiego systemu. Przedstawiono w nim strukturę niezawodnościową systemu SAT oraz wybrane parametry niezawodnościowe, takie jak: intensywność uszkodzeń λ , intensywność odnowy μ , współczynnik gotowości poszczególnych elementów systemu SAT, obliczone w dwóch różnych kopalniach i w różnych okresach eksploatacji systemu.

1. WSTĘP

Aktualnie obowiązujące przepisy wymagają stosowania w podziemnych zakładach górniczych systemów łączności alarmowo-rozgłoszeniowej. Wymagania funkcjonalne dla tego typu systemów są sformułowane w Rozporządzeniu MG „w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych” [4] oraz w Rozporządzeniu RM „w sprawie dopuszczenia wyrobów do stosowania w zakładach górniczych” [5]. Obecnie w polskim górnictwie są stosowane 3 tego typu systemy (pominięto system AUD-80): STAR, SAT i HETMAN. W wymienionych systemach stosuje się zintegrowane urządzenia abonenckie (telefony sygnalizatory) realizujące zarówno funkcje łączności telefonicznej, jak i funkcje łączności alarmowo-rozgłoszeniowej.

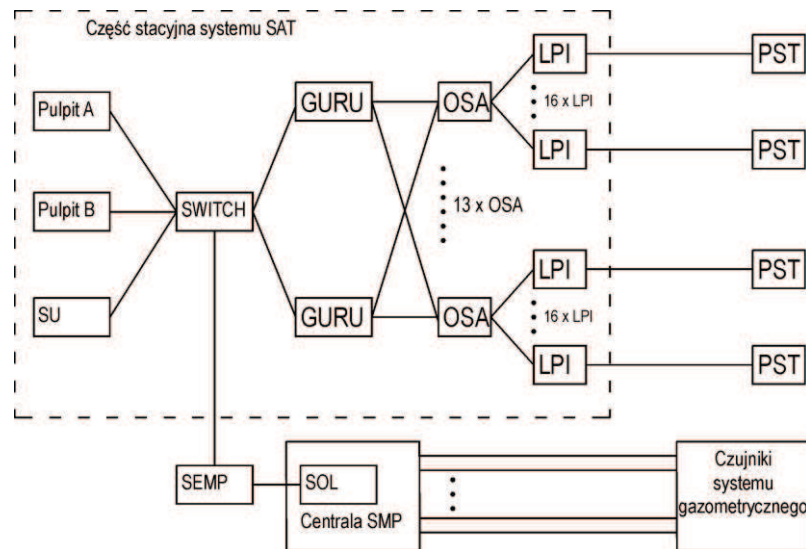
Zagadnienia niezawodności kopalnianych systemów telekomunikacyjnych były prowadzone w poprzednich latach w Centrum EMAG [6], lecz ograniczyły się do podania pewnych zależności analitycznych.

Systemy łączności alarmowo-rozgłoszeniowej są wyposażone w funkcje rejestracji zdarzeń w pamięci komputerów. Jednym z rodzajów rejestrowanych zdarzeń są początki i końce stanów uszkodzenia poszczególnych elementów systemu. Celem artykułu jest analiza niezawodności systemów łączności alarmowo-rozgłoszeniowej przy wykorzystaniu zarejestrowanych zdarzeń.

2. STRUKTURA NIEZAWODNOŚCIOWA SYSTEMU SAT

System SAT składa się z następujących części:

- telefonów sygnalizatorów typu PST jako dołowych urządzeń abonenckich,



Rys. 1. Schemat niezawodnościowy systemu SAT

- stojaka typu SSI-SAT zawierającego zespoły separacji iskrobezpiecznej typu LPI, sterowniki OSA oraz sterowniki GURU,
- komputerowych pulpitu dyspozytorskich typu PDK-SAT (najczęściej dwa pulpity oznaczone jako A i B),
- stanowiska utrzymaniowego SU,
- elementu integrującego lokalną sieć komputerową – switch systemu SAT,

Dodatkowo system SAT może współpracować z systemem gazometrycznym typu SMP-NT dla realizacji funkcji rozgłaszania komunikatów alarmowych w przypadku przekroczenia mierzonych parametrów bezpieczeństwa (np. stężenie CH_4 , CO itp.). Na rys. 1 pokazano niezawodnościowy schemat blokowy systemu SAT. Każdy telefon sygnalizator typu PST posiada w stojaku SSI-SAT swój zespół separacji iskrobezpiecznej LPI, pełniący następujące funkcje:

- możliwość przyłączenia do centrali telefonicznej ogólnokopalnianej danego urządzenia abonentkiego w przypadku podniesienia mikrofonu (nie zaznaczono na rys. 1) lub w przypadku, gdy dowolny abonent wybierze numer telefonu sygnalizatora PST,
- ładowanie baterii akumulatorów w urządzeniu typu PST w stanie spoczynkowym,
- realizacja protokołu sygnalizacji dla urządzenia typu PST,
- możliwość przyłączenia do pulpitu dyspozytora lub stanowiska utrzymaniowego w przypadku naciśnięcia na PST przycisku wywołania dyspozytora w trybie zwykłym lub alarmowym, albo po wybraniu odpowiedniego przycisku na pulpicie dyspozytora lub stanowiska utrzymaniowego.

Każdy pulpit dyspozytorski (do 3 sztuk) oraz stanowisko utrzymaniowe są dołączone do odręb-

nych magistral akustycznych, do których można przyłączyć dowolny zespół LPI (a tym samym urządzenie typu PST). Zespoły LPI umieszczone na jednej półce szafy SSI-SAT (do 16 sztuk) są połączone magistralą I^2C ze sterownikiem OSA umieszczonym na tej samej półce. Wszystkie sterowniki OSA w jednym stojaku (do 13 sztuk) są połączone dwoma magistralami RS485 z dwoma sterownikami GURU. Sterowniki GURU są połączone siecią Ethernet (poprzez switch SAT) z komputerowymi pulpitem dyspozytorskimi i stanowiskiem utrzymaniowym.

Sieć Ethernet, magistrale RS485 oraz I^2C umożliwiają wymianę informacji pomiędzy zespołami LPI a pulpitem dyspozytorskim i stanowiskiem utrzymaniowym.

W czasie pracy systemu SAT występuje szereg zdarzeń związanych zarówno z normalną pracą systemu (np. przywołanie dyspozytorskie, przywołanie alarmowe), jak i zdarzeń związanych z uszkodzeniami elementów systemu SAT. Tego rodzaju zdarzenia są rejestrowane w komputerach pulpitu dyspozytorskich oraz w komputerze stanowiska utrzymaniowego. Rejestrowane są następujące zdarzenia związane z uszkodzeniami elementów systemu SAT:

- brak transmisji – brak komunikacji pomiędzy aplikacją SAT (w komputerze pulpitu dyspozytorskiego lub stanowiska utrzymaniowego) i kartą KTD (specjalizowana karta dla podłączenia magistrali audio do komputera pulpitu dyspozytorskiego lub stanowiska utrzymaniowego),
- brak transmisji dyspozytorskiej – brak transmisji pomiędzy komputerem pulpitu dyspozytorskiego lub stanowiska utrzymaniowego a obydwojema sterownikami GURU w stojaku SSI-SAT,

- awaria OSA – brak komunikacji pomiędzy sterownikiem GURU a jednym ze sterowników półkowych OSA,
- błąd konfiguracji OSA – komunikacja pomiędzy sterownikiem GURU i sterownikiem OSA z błędem wykrytym przy analizie sumy kontrolnej,
- awaria komputera – brak komunikacji z innym pulpitem lub stanowiskiem utrzymaniowym,
- awaria GURU – brak komunikacji z jednym ze sterowników GURU w stojaku SAT przy istnieniu komunikacji z drugim sterownikiem GURU,
- awaria SEMP – brak komunikacji ze stanowiskiem nadzoru SEMP systemu gazometrycznego SMP-NT,
- awaria SOL – brak komunikacji ze sterownikiem obwodów liniowych SOL w systemie gazometrycznym SMP-NT,
- uszkodzenie – uszkodzenie łącza abonenckiego (zespół separacji iskrobezpiecznej LPI, para w telekomunikacyjnej sieci kablowej z telefonem sygnalizatorem typu PST na końcu),
- uszkodzenie baterii w telefonie sygnalizatorze typu PST.

Uszkodzenie jest zdarzeniem rejestrowanym w dwóch sytuacjach:

- brak 2 sygnałów DTMF wysyłanych przez telefon sygnalizator typu PST co 30 s. W takim przypadku następuje krótkotrwała przerwa w zasilaniu telefonu sygnalizatora typu PST w celu wymuszenia resetu mikrosterownika w PST. Po resece następuje oczekiwanie na 2 sygnały DTMF (ponad 1 min) i w razie ich braku następuje zapis początku zdarzenia – uszkodzenie dla danego telefonu sygnalizatora PST,
- obniżenie wartości prądu pobieranego przez przetwornicę zespołu LPI poniżej 10 mA (w stanie normalnym – ładowanie akumulatora w PST – przetwornica pobiera prąd około 17 mA). Sytuacja taka występuje przy uszkodzeniu pary w kablu telekomunikacyjnym (np. przerwa) lub odłączeniu urządzenia typu PST, np. w trakcie przebudowy,
- brak komunikacji pomiędzy sterownikiem OSA a zespołem LPI (np. w przypadku uszkodzenia LPI lub jego wyjęcia ze stojaka).

Uszkodzenie baterii jest rejestrowane, jeżeli w momencie wysyłania sygnału DTMF przez telefon sygnalizator PST napięcie na zaciskach wyjściowych baterii jest mniejsze od dopuszczalnego (około 12 V).

Zdarzenia dotyczące pracy systemu SAT są rejestrowane w plikach *.rap w firmowym formacie na komputerach pulpitu dyspozytorskich oraz na komputerze stanowiska utrzymaniowego. Zawartość plików może być oglądana przeglądarką *rapportsat.exe*.

3. PARAMETRY NIEZAWODNOŚCIOWE ZASTOSOWANE DO OCENY SYSTEMU SAT

System SAT składa się z wielu współdziałających pomiędzy sobą elementów, które mogą ulec uszkodzeniu. Każdy z tych elementów może być traktowany jako obiekt odnawialny, a funkcjonowanie każdego z tych elementów może być traktowane jako ciąg dwóch stanów:

- stan zdatności (prawidłowa praca elementu),
- stan niezdatności (uszkodzenie elementu).

Czasy trwania poszczególnych stanów zdatności i niezdatności są zmiennymi losowymi.

Dla ilościowego scharakteryzowania niezawodności elementów naprawialnych najważniejsze są następujące parametry [1, 2, 3, 7]:

- **Intensywność uszkodzeń (chwilowa), $\lambda(t)$** – granica, jeśli taka istnieje, stosunku prawdopodobieństwa warunkowego, że chwila T uszkodzenia obiektu znajdzie się w danym przedziale czasu $(t, t + \Delta t)$ do długości tego przedziału Δt , gdy Δt dąży do zera, przy założeniu, że obiekt jest w stanie zdatności na początku przedziału czasu.
- **Intensywność naprawy (chwilowa), $\mu(t)$** – granica, jeśli taka istnieje, stosunku prawdopodobieństwa warunkowego zakończenia obsługi remontowej (korekcyjnej) w przedziale czasu $(t, t + \Delta t)$ do długości tego przedziału czasu Δt , dla Δt dążącego do zera, przy założeniu, że działanie nie zakończyło się na początku tego przedziału czasu.
- **Funkcja gotowości $K(t)$** – prawdopodobieństwo przebywania obiektu w stanie zdatności w chwili t .
- **Funkcja niegotowości $U(t)$** – prawdopodobieństwo przebywania obiektu w stanie niezdatności w chwili t .

W przypadku, gdy dla danego elementu wartość intensywności uszkodzeń jest stała $\lambda(t)=\lambda$, to czas stanu zdatności jest zmienną losową o wykładniczym rozkładzie prawdopodobieństwa, a w przypadku gdy intensywność naprawy $\mu(t)=\mu$ jest stała, to czas niezdatności jest zmienną losową o wykładniczym rozkładzie prawdopodobieństwa. Funkcja gotowości ma wtedy stałą wartość równą:

$$K = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \quad (1)$$

a funkcja niegotowości również ma stałą wartość równą:

$$U = 1 - K$$

4. BADANIA NIEZAWODNOŚCI SYSTEMU SAT

Badanie niezawodności systemu SAT przeprowadzono z wykorzystaniem plików raportów zarejestrowanych w trakcie eksploatacji systemu w dwóch kopalniach. Bezpośrednie wykorzystanie przeglądarki *raportsat.exe* umożliwia edycję zdarzeń łącznie z zastosowaniem mechanizmów filtrowania, natomiast nie pozwala na bardziej rozbudowaną analizę.

Dla potrzeb analizy niezawodności systemu SAT producent systemu (firma TELVIS Katowice) opracował modyfikację przeglądarki pod nazwą *raportsat_par.exe*, którą można wywołać, podając dwa parametry:

- nazwę pliku wejściowego (*.rap),
- nazwę pliku wyjściowego (*.txt).

Przeglądarka wywołana z parametrami umożliwia wsadową konwersję plików *.rap do postaci *.csv (pola danych w poszczególnych rekordach oddzielone średnikami). Dla wsadowej konwersji plików wykorzystano autorski program *FileConv.exe*, który dokonuje konwersji wszystkich plików *.rap w folderze o zadanej ścieżce dostępu plików wejściowych, a wyniki konwersji zapisuje w plikach *.txt w folderze o zadanej ścieżce dostępu plików wyjściowych.

Przetwarzanie wsadowe było konieczne ze względu na dużą liczbę plików (ponad 4000 plików dla 1 roku

eksploatacji systemu). Następnie za pomocą autorskiego programu *Analiza.exe* dokonano połączenia wszystkich plików tekstowych danego roku w jeden plik zawierający tylko takie zdarzenia, które zostały uznane za uszkodzenia systemu SAT. Dalszą analizę niezawodności prowadzono w arkuszu kalkulacyjnym EXCEL. Dokonano sortowania arkusza ze względu na następujące rodzaje zdarzeń:

- GURU,
- KOMPUTER,
- OSA,
- BRAK TRANSMISJI,
- BRAK TRANSMISJI DYSPOZYTORSKIEJ,
- USZKODZENIE.

Nie uwzględniono zdarzeń oznaczonych jako USZKODZENIE BATERII, ponieważ takie zdarzenie nie oznacza jeszcze niesprawności telefonu sygnalizatora PST. Istnieje pewna niejednoznaczność w interpretacji zdarzenia oznaczonego jako USZKODZENIE, ponieważ niekiedy takie zdarzenia występują bardzo często i są stosunkowo krótkie. W tabeli 1 pokazano przykład rejestracji zdarzenia USZKODZENIE dla telefonu sygnalizatora zainstalowanego przy napędzie przenośnika Gwarek.

Zdarzenia USZKODZENIE analizowano w trzech przypadkach:

- dla dowolnego czasu trwania,
- dla czasu trwania powyżej 1 godziny,
- dla czasu trwania powyżej 5 godzin.

Tabela 1

Przykład rejestracji zdarzenia USZKODZENIE dla pojedynczego telefonu sygnalizatora

ZDARZENIE	POCZĄTEK	KONIEC	Czas trwania	Numer linii
USZKODZENIE	2009-04-06 11:03:58	2009-04-06 18:22:55	7,316	84
USZKODZENIE	2009-04-06 18:28:58	2009-04-06 18:29:25	0,008	84
USZKODZENIE	2009-04-06 18:34:36	2009-04-07 00:04:56	5,506	84
USZKODZENIE	2009-04-07 00:14:44	2009-04-07 00:22:53	0,136	84
USZKODZENIE	2009-04-07 00:27:42	2009-04-07 00:29:22	0,028	84
USZKODZENIE	2009-04-07 00:32:20	2009-04-07 00:37:44	0,09	84
USZKODZENIE	2009-04-07 00:40:42	2009-04-07 00:49:02	0,139	84
USZKODZENIE	2009-04-07 00:52:00	2009-04-07 08:17:07	7,419	84
USZKODZENIE	2009-04-07 08:27:10	2009-04-07 08:27:19	0,002	84
USZKODZENIE	2009-04-07 08:27:22	2009-04-07 08:27:27	0,001	84
USZKODZENIE	2009-04-07 08:27:33	2009-04-07 08:28:19	0,013	84
USZKODZENIE	2009-04-07 08:28:22	2009-04-07 08:30:36	0,037	84
USZKODZENIE	2009-04-07 08:30:44	2009-04-07 08:30:59	0,004	84
USZKODZENIE	2009-04-07 08:31:05	2009-04-07 08:31:41	0,01	84
USZKODZENIE	2009-04-09 15:47:18	2009-04-09 15:47:45	0,008	84
USZKODZENIE	2009-04-09 15:47:52	2009-04-09 15:48:50	0,016	84
USZKODZENIE	2009-04-09 15:48:53	2009-04-09 15:52:04	0,053	84

Tabela 2

Wyniki obliczeń wybranych parametrów niezawodnościowych elementów systemu SAT

	Liczba uszkodzeń	Liczba urządzeń	Intensywność uszkodzeń λ , 1/h	Maks. czas odnowy, h	Intensywność naprawy μ , 1/h	Współczynnik gotowości K	Współczynnik niegotowości U, $\cdot 10^6$
KWK A 2009 rok							
GURU	128	4	0,0037	0,18	108	0,99997	34
Komputer	156	2	0,0089	2,3	1,1	0,99197	8026
OSA	29	24	0,00014	0,005	1120	1,00000	0
Brak transmisji	46	1	0,0052	0,003	3500	1,00000	1
Brak transmisji dyspozytorskiej	55	1	0,0062	0,014	1400	1,00000	4
Łącze abonenckie (uszkodzenie >0 h)	29663	380	0,009	468	0,91	0,99021	9800
Łącze abonenckie (uszkodzenie >1 h)	2128	380	0,00064	468	0,072	0,99119	8800
Łącze abonenckie (uszkodzenie >5 h)	829	380	0,00025	468	0,031	0,99200	8000
KWK A 2008 rok							
GURU	198	4	0,0056	0,18	108	0,99995	52
Komputer	278	2	0,0079	2,3	1,1	0,99287	7131
OSA	45	24	0,00021	0,005	1120	1,00000	0
Brak transmisji	93	1	0,01	0,003	3500	1,00000	3
Brak transmisji dyspozytorskiej	95	1	0,01	0,014	1400	0,99999	7
Łącze abonenckie (uszkodzenie >0 h)	34526	380	0,01	360	1,1	0,99099	9009
Łącze abonenckie (uszkodzenie >1 h)	2694	380	0,008	360	0,1	0,92593	74074
Łącze abonenckie (uszkodzenie >5 h)	1021	380	0,0003	360	0,04	0,99256	7444
KWK B 2009 rok (II półrocze)							
GURU	226	2	0,012	16	9	0,99867	1332
Komputer	330	3	0,012	0,5	53	0,99977	226
OSA	11597	12	0,22	91	1	0,81967	180328
Brak transmisji dyspozytorskiej	179	1	0,04	0,15	207	0,99981	193
Łącze abonenckie (uszkodzenie >0 h)	173134	345	0,11	358	3,6	0,97035	29650
Łącze abonenckie (uszkodzenie >1 h)	3881	345	0,002	358	0,09	0,97826	21739
Łącze abonenckie (uszkodzenie >5 h)	1605	345	0,001	358	0,042	0,97674	23256

Założono, że czasy trwania stanu zdatności i czasy trwania stanu niezdatności są zmiennymi losowymi o rozkładzie wykładniczym i wtedy intensywność uszkodzeń i intensywność odnowy mają stałą wartość i są obliczane z zależności:

$$\mu = \frac{n}{\sum_{i=1}^n T_{o_i}} \quad [1/h] \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{n}{N \cdot \Delta t} \quad [1/h] \quad (3)$$

gdzie:

n – liczba uszkodzeń w obserwowanym okresie (np. 1 rok),

T_{o_i} – czas odnowy (naprawy) dla i -tego uszkodzenia,

N – liczba jednocześnie pracujących elementów,

Δt – długość okresu obserwacji.

Wyniki obliczeń poszczególnych parametrów niezawodnościowych elementów systemu SAT pokazano w tabeli 2.

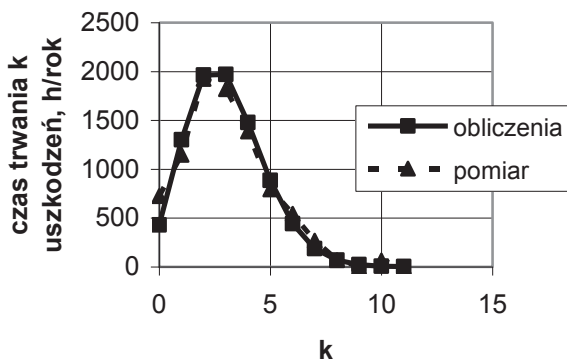
System SAT ma mieszaną strukturę niezawodnościową. Sterowniki GURU pracują równolegle i stanowią dla siebie rezerwę. W dyspozytorni instaluje się 2 pulpity dyspozytorskie, co również tworzy pewną redundancję. Uszkodzony sterownik OSA może być stosunkowo szybko wymieniony przez obsługę na sprawny. Obliczone parametry niezawodnościowe pokazują, że najbardziej zawodnym elementem systemu jest łącze abonenckie (zespół LPI, para w sieci telekomunikacyjnej i telefon sygnalizator typu PST). Aktualny stan niezawodnościowy systemu SAT można opisać przez liczbę aktualnie niesprawnych łączy abonenckich. Czas trwania określonej liczby uszkodzeń łączy abonenckich jest zmienną losową o rozkładzie dwumianowym. Prawdopodobieństwo, że w systemie SAT zawierającym N łączy abonenckich będzie uszkodzonych jednocześnie k łączy o współczynniku niegotowości U jest równe:

$$p(k, N) = \binom{N}{k} \cdot U^k \cdot (1-U)^{N-k} \quad (4)$$

W przypadku okresu obserwacji Δt suma czasów $t(k, N)$ gdy w systemie jest uszkodzonych k łączy abonenckich może być obliczona z zależności:

$$t(k, N) = \Delta t \cdot p(k, N) = \Delta t \cdot \binom{N}{k} \cdot U^k \cdot (1-U)^{N-k} \quad (5)$$

Na rys. 2. pokazano zależność czasu trwania k uszkodzeń łączy abonenckich w systemie SAT w KWK A w roku 2009, określonych wg wzoru na rozkład dwumianowy (5) oraz obliczonych na podstawie rejestracji uszkodzeń w komputerze. Widać dużą zbieżność obu wykresów, co świadczy o słuszności założenia o wykładniczym rozkładzie prawdopodobieństwa czasu trwania zdadności i niezdadności łączy abonenckiego.



Rys. 2. Zależność czasu trwania k uszkodzeń (o czasie ponad 5 godzin) w systemie SAT w KWK A w roku 2009 od liczby uszkodzeń k

5. WNIOSKI

W artykule dokonano analizy niezawodności systemu SAT na podstawie rejestracji zdarzeń w dwóch kopalniach (A oraz B) w latach 2008 i 2009. Uzyskane wyniki analizy są pewną wypadkową trzech czynników:

- właściwości niezawodnościowych elementów systemu SAT,
- właściwości środowiska technicznego podziemnego zakładu górniczego oddziałującego na eksploatowaną w nim telekomunikacyjną sieć kablową i urządzenia abonenckie końcowe, czyli telefony sygnalizatory typu PST,
- organizacji obsługi systemu SAT, co wpływa bezpośrednio na czas odnowy.

Porównując parametry niezawodnościowe obu kopalń widać, że w KWK B, gdzie rozpoczynano eksploatację systemu SAT wskaźniki niezawodnościowe są gorsze niż w KWK A, co wynika z procesu rozruchu systemu, jego konfigurowania, szkolenia i bieżącej obsługi.

Rejestracje zdarzeń mogą być przydatne w analizie niezawodnościowej systemu SAT z tym, że niezbędna jest modyfikacja sposobu rejestracji zdarzeń. Modyfikacja powinna polegać na:

- rozszerzeniu liczby rejestrowanych zdarzeń. Należy rozróżnić:
 - zdarzenie uszkodzenia łączy spowodowane zmniejszeniem prądu pobieranego przez przetwornicę bariery,
 - zdarzenia spowodowane brakiem dwóch odpowiednich sygnałów DTMF wysyłanych co 0,5 min przez telefon sygnalizator PST,
 - zdarzenia spowodowanego brakiem komunikacji z zespołem LPI,
 - organizacji rejestrowanych zdarzeń w postaci bazy danych, która byłaby dostępna dla analizy niezawodnościowej bez konieczności konwersji plików.
- Wyniki analizy niezawodnościowej powinny być wykorzystane zarówno przez oddziały łączności kopalni, serwis systemu, jak i producenta systemu SAT. Właściwa obsługa systemu polegająca między innymi na przełączaniu nieużywanych łączy abonenckich w stan blokady może spowodować polepszenie wskaźników niezawodnościowych systemu i uwolnić dyspozytora od niepotrzebnej obsługi zgłoszenia uszkodzeń.

Literatura

1. Bucior J.: Podstawy teorii i inżynierii niezawodności. Oficyna wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej Rzeszów 2004.
2. Piłowicz W.: Inżynieria bezpieczeństwa technicznego. Problematyka podstawowa. WNT Warszawa 2008.
3. PN-93/N-50191. Słownik terminologiczny elektryki. Niezawodność; jakość usługi.
4. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych. Dz.U. z 2002 nr 139, poz. 1169 z późniejszymi zmianami.
5. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 kwietnia 2004 w sprawie dopuszczenia wyrobów do stosowania w zakładach górniczych. Dz. U. z 2004, nr 99, poz. 1003 z późniejszymi zmianami.
6. Rej A., Skoropacki W., Wojtas P.: Sprawozdanie merytoryczne z realizacji Projektu Badawczego Nr 9T12A 03116 pt. Badanie niezawodności strukturalnej kopalnianej sieci telekomunikacyjnej. Praca naukowo-badawcza Centrum EMAG. Katowice 2000.
7. Szopa T.: Niezawodność i bezpieczeństwo. Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2009.

Recenzent: dr inż. Zdzisław Krzysztanek