

Wybrane zagadnienia bezpiecznego układu sterowania maszyn górnictwa odkrywkowego

Marek Trajdos

Wszystkie maszyny wprowadzane na wspólny rynek europejski muszą spełniać określone wymagania bezpieczeństwa, zwane wymaganiami zasadniczymi. Maszyny takie podlegają obowiązkowi oznaczenia CE i złożeniu przez ich producenta deklaracji zgodności WE, która stanowi potwierdzenie przejęcia odpowiedzialności za ich bezpieczne wykonanie w zgodności z obowiązującymi wymaganiami prawa. Odpowiedzialność zatem pozostaje przy jednostce wprowadzającej maszynę na rynek. Użytkownik ponosi jednak odpowiedzialność za bezpieczeństwo w zakresie wymagań zasadniczych, ponieważ jest zobowiązany do eksploatacji maszyny w sposób właściwy, czyli zgodnie z dostarczoną przez producenta instrukcją maszyny.

Producent (projektant) w celu spełnienia wymagań zasadniczych dla produktu musi postępować według określonej metodycznie i chronologicznie procedury, zwanej schematem redukcji ryzyka. A chcąc spełnić wymagania dla nowych maszyn, może posługiwać się systemem norm technicznych zharmonizowanych z Dyrektywą Maszynową, dowodząc tym samym spełnienia wymagań. Takie postępowanie nosi nazwę zasady domniemania.

Wśród wielu aspektów bezpieczeństwa maszyny istotny element stanowi projektowanie części systemu sterowania związanego z bezpieczeństwem. Jedną z metod jest szczegółowo opisana w normach [5 i 6]. Jest ona przedmiotem rozważań zawartych w niniejszej publikacji.

Biorąc pod uwagę, iż maszyny podstawowe stosowane w górnictwie odkrywkowym stanowią źródło licznych zagrożeń [1], omawiana kwestia wydaje się niezmiernie istotna w teorii i praktyce.

Poziom zapewnienia bezpieczeństwa

Głównym parametrem określającym bezpieczeństwo, a ujętym w normie [5] jest poziom zapewnienia bezpieczeństwa oznaczany jako PL . Faktycznie występują dwa takie pojęcia:

- wymagany poziom zapewnienia bezpieczeństwa PL_r – stopień wymagań, którego oczekujemy, badając ryzyko związane z danym ryzykiem, które jest kombinacją spodziewanej ciężkości szkody i prawdopodobieństwa jej wystąpienia (rys. 1 i [2]);
- poziom zapewnienia bezpieczeństwa PL – stopień wymagań spełniony przez projektowany układ (lub fragment układu) sterowania. Istnieje warunek, aby osiągnięty PL był nie niższy od wymaganego ($PL \geq PL_r$).

Poziom zapewnienia bezpieczeństwa (PL i PL_r) jest wielkością bezwymiarową i może przyjmować jedną z pięciu wartości {a, b, c, d, e}.

Streszczenie: W pracy omówiono zasady realizacji wybranych elementów układu bezpieczeństwa maszyny w odniesieniu do podstawowych maszyn górnictwa odkrywkowego. Przedstawiono znaczenie analizy i oceny ryzyka w odniesieniu do maszyn po raz pierwszy wprowadzanych na rynek WE. Rozważania poparto przykładami określania, obliczania i realizacji funkcji bezpieczeństwa dla wymienionych wyżej maszyn.

THE CHOSEN QUESTIONS OF THE SAFE ARRANGEMENT OF CONTROL THE MACHINES OF THE OPENCAST MINING

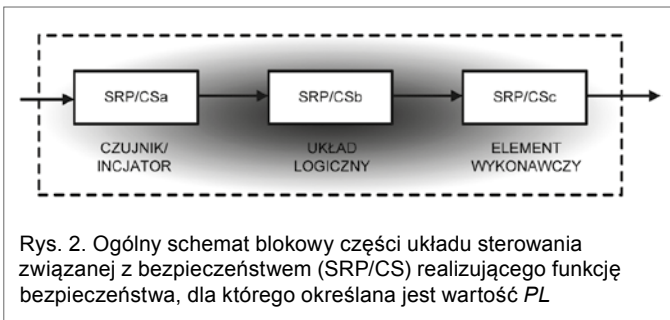
Abstract: In the work talked over the principle of the realization of the chosen units of the arrangement of the safety of machine in reference to the basic machine of the opencast mining. It was introduced the meaning the analysis and the opinion the risk analysis and risk assessment in the reference to machine the first time introduced on the market CE. The considerations were supported the examples define, calculation and realization of the function of the safety for exchanged higher machines.



Rys. 1. Schematyczne przedstawienie definicji ryzyka i jego czynników składowych

W projektowanym układzie sterowania ograniczającym wartość ryzyka poziom PL jest osiągnięty w oparciu o pięć elementów (zwanych niekiedy filarami):

- kategorię bezpieczeństwa {B, 1, 2, 3, 4};
- średni czas do awarii niebezpiecznej $MTTF_d$ {NISKI, ŚREDNI, WYSOKI};
- średnie pokrycie diagnostyczne DC_{AVG} {BRAK, NISKIE, ŚREDNIE, WYSOKIE};
- zakłócenia powodowane wspólną przyczyną $CCF < 0; 100 >$ [punkty bez mian] – należy osiągnąć dla projektowanego układu wartość nie niższą niż 65 ($CCF \geq 65$);
- weryfikację.



Fot. 1. Widoki stref zagrożenia związanych z przenośnikami taśmowymi drogi transportu typowej dla maszyn podstawowych

Poziom zapewnienia bezpieczeństwa jest określany dla układu realizującego daną funkcję bezpieczeństwa, której pojęcie zostanie przybliżone dalej.

Funkcja bezpieczeństwa

W systemie sterowania maszyny możemy wyróżnić liczne zagrożenia i ustalić wielkość odpowiadającego im ryzyka. Nakładając na ten zbiór przewidywane czynności operatorów i możliwe zachowania innych osób przebywających w rejonach stref zagrożenia, należy ustalić, biorąc pod uwagę przepisy prawa i zasady ergonomii, listę funkcji, jakie musi spełniać część układu sterowania związana z bezpieczeństwem. Dla każdej z tych funkcji należy oczywiście określić poziom zapewnienia bezpieczeństwa adekwatny do zredukowanego ryzyka. Techniczną płaszczyzną funkcji bezpieczeństwa może być jedna z następujących technologii: mechanika, hydraulika, pneumatyka i elektryka/elektronika/elektronika programowalna.

Norma [5] wyznacza zasady projektowania dla każdej z wymienionych wyżej technologii lub dla układów realizowanych w technologiach hybrydowych (np. hydrauliczno-elektronicznej).

W procesie projektowania układu realizującego daną funkcję bezpieczeństwa (np. zatrzymanie awaryjne napędu 3. w wyniku naciśnięcia dowolnego przycisku dłoniowego stopu bezpieczeństwa o nr. od 16 do 23) kolejno określa się wymagany poziom bezpieczeństwa (PL_r), a następnie dobiera konfigurację układu, aby ostatecznie posługując się urządzeniami danego producenta lub producentów, układ w pełni zrealizować i poddać badaniu praktycznemu zwanemu walidacją [6].

Każdy układ realizujący funkcję bezpieczeństwa można przedstawić w postaci pewnej ogólnej struktury uwidocznionej na rys. 2.

Jak widać na rysunku, generalnie każdy taki układ składa się z części czujnikowej lub inicjującej działanie (kurtyna świetlna, przycisk grzybkowy, wyłącznik linkowy itd.) układu logicznego (przełącznik bezpieczeństwa, fragment sterownika PLC w wykonaniu specjalnym itd.) oraz elementu wykonawczego (stycznik, hamulec, przekształtnik częstotliwości z zaimplementowaną funkcją bezpieczeństwa, elektrozawór itd.) W ogólnym przypadku każdy z powyższych bloków oraz kanałów sygnałowych może być zwielokrotniony. Mogą również wystąpić sprzężenia zwrotne (rys. 5). Struktura układu związana jest głównie z przyjętą przez projektanta kategorią bezpieczeństwa.

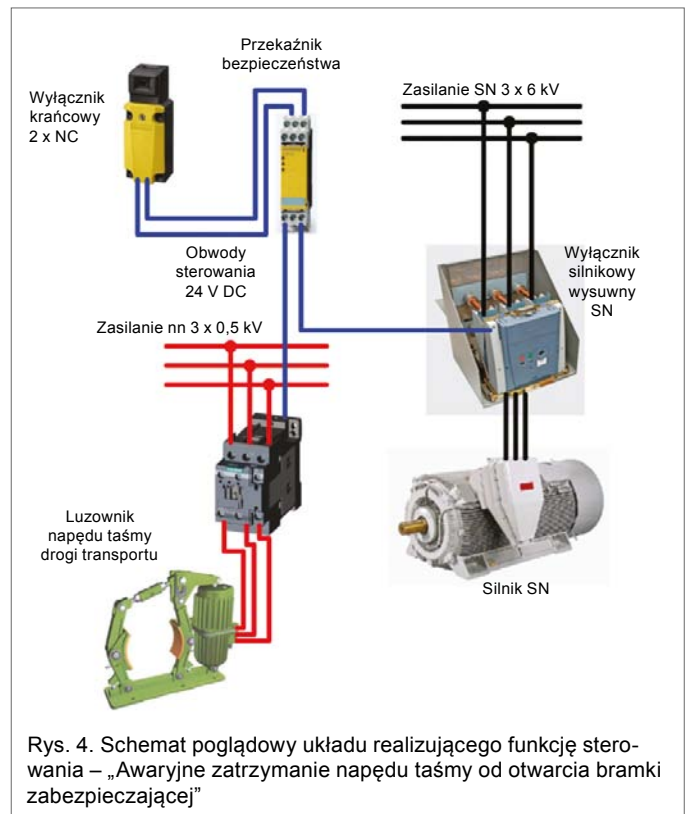
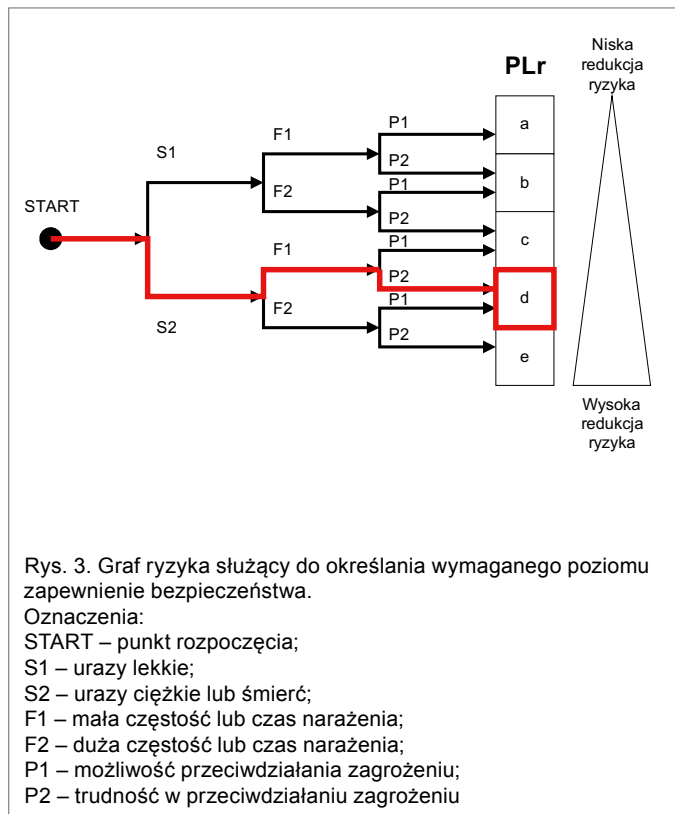
Przykład obliczeniowo-projektowy

Jedno z typowych zagrożeń w maszynach podstawowych jest związane z pracą (ruchem) przenośników taśmowych. Oprócz branżowych przepisów dotyczących eksploatacji w maszynach

górnictwych wprowadzonych na rynek od 1 maja 2004 r. muszą być spełnione wymagania zasadnicze bezpieczeństwa w celu ochrony osób, które mogą znajdować się w ich otoczeniu (w tym przypadku – na nich). Zatem problem niniejszego zagrożenia musi być rozwiązany w czasie procesu projektowania i poprzedzony oceną ryzyka związanego z danym zagrożeniem. Proces redukcji ryzyka został w skrócie opisany wyżej oraz w pracach wymienionych w literaturze [1–6]. Poniżej przedstawiono konkretny przykład obliczeniowy dla wybranej funkcji bezpieczeństwa związanej z danym obszarem i zagrożeniem. Ze względu na charakter niniejszej publikacji pominięto tu zagadnienie doboru osłon, koncentrując się na części układu sterowania związanej z bezpieczeństwem i realizującej określoną funkcję bezpieczeństwa.

Ponieważ istnieje znaczące zagrożenie dla osób poruszających się przejściem wzdłuż taśmy przenośnika drogi transportu maszyny podstawowej (zarówno koparki, jak i zwalówki, fot. 1) jest ono zabezpieczane osłoną ruchomą w postaci furtki wyposażonej w wyłącznik pozycyjny. Opisany układ realizuje funkcję bezpieczeństwa polegającą na zatrzymaniu ruchu przenośnika taśmowego w wypadku naruszenia przez osobę granicy obszaru bezpieczeństwa wyznaczonego osłoną. Przypiszmy zatem nazwę powyższej funkcji: „Awaryjne zatrzymanie napędu taśmy od otwarcia bramki zabezpieczającej” i zaprojektujemy układ sterowania, który ją realizuje, wykorzystując normę PN-EN ISO 13849-1.

Pierwszym krokiem jest określenie wymaganego dla danej funkcji poziomu zapewnienia bezpieczeństwa PL_r . W tym celu skorzystajmy z grafu ryzyka zamieszczonego w normie [5] na rysunku A.1. W wypadku analizy zagrożenia przy przechodzeniu wzdłuż pracującego przenośnika można przyjąć, że osoba narażona jest na urazy ciężkie (a nawet śmierć), częstość narażenia jest mała i wchodząc do strefy trudno zagrożenia uniknąć. A zatem, jak pokazano na rysunku, wymagany poziom



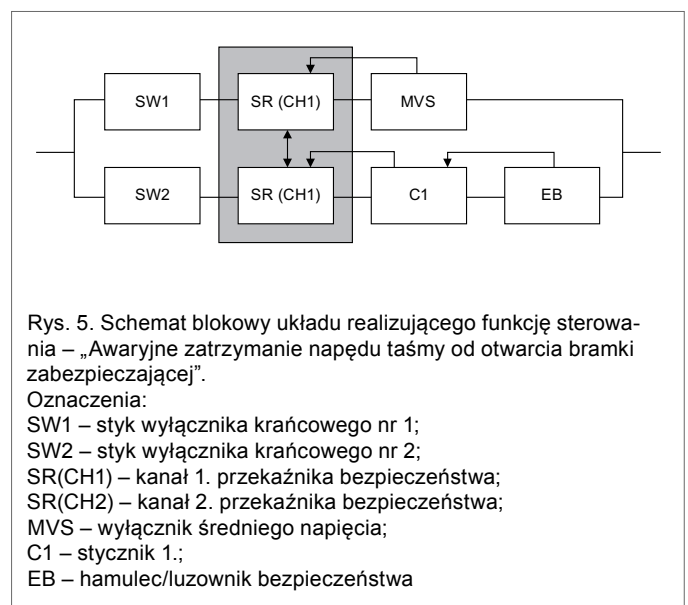
zapewnienia bezpieczeństwa wynosi PL_d . Projektując układ realizujący daną funkcję bezpieczeństwa, musimy co najmniej taką wartość PL osiągnąć.

Na rys. 3 przedstawiono w sposób poglądowy schemat przykładowej realizacji omawianej tu funkcji bezpieczeństwa. Układ składa się z czujnika, którym jest wyłącznik krańcowy zamontowany w furtce wydzielającej strefę zagrożenia. Wyłącznik ten jest wyposażony w dwa styki typu NC sygnalizujące otwarcie osłony (SW1 i SW2). Dwukanałowego przełącznika bezpieczeństwa (SR) będącego „sercem” układu i elementów wykonawczych: wyłącznika SN (MVS), stycznika pomocniczego (C1) oraz hamulca bezpieczeństwa (EB). Przy doborze wymienionych elementów założono, że wyłącznik SN został wyposażony w wyzwalacz słabo energetyczny, który nie wymaga zastosowania w obwodzie sterowania wyłącznikiem stycznika (przełącznika) pomocniczego oraz że wszystkie elementy wykonawcze zostały połączone obwodami sprzężeń zwrotnych informujących przełącznik bezpieczeństwa o prawidłowym zadziałaniu. W zakresie napięć przyjęto, że przenośnik jest napędzany silnikiem o napięciu zasilania 6 kV, a obwód siłowy hamulca pracuje pod napięciem 500 V. Do obwodów sterowania wykorzystano napięcie stałe 24 V.

Na rys. 5 przedstawiono schemat blokowy układu sterowania bezpieczeństwem, który zostanie wykorzystany do obliczeń poziomu PL .

Jak widać z rys. 5 układ ma architekturę dwukanałową, typową dla 3. i 4. kategorii bezpieczeństwa. Oczywiście wszystkie jego elementy muszą być połączone zgodnie z wytycznymi producenta.

Kolejnym krokiem jest wyznaczenie średniego czasu do uszkodzenia niebezpiecznego oraz pokrycia diagnostycznego dla poszczególnych elementów schematu blokowego oraz wypadkowego czasu $MTTF_d$ i wartości średniej pokrycia diagnostycznego dla całego układu.



Do realizacji funkcji bezpieczeństwa w niniejszym przykładzie jako jeden z elementów wykonawczych zastosowano próżniowy wyłącznik silnikowy o napięciu znamionowym 7,5 kV z rodziny SION 3AE w wykonaniu wysuwany. Producent podaje dla tego typu wyłącznika wartość średniego czasu między uszkodzeniami $MTBF$ 5.027 lat.

Statystyczny czas $MTBF$ jest sumą średniego czasu do uszkodzenia $MTTF$ i średniego czasu naprawy $MTTR$:

$$MTBF = MTTF + MTTR \quad (1)$$

Ponieważ można założyć, że $MTTF \gg MTTR$, więc istnieje możliwość przyjęcia do obliczeń, że $MTTF = MTBF$.

Tabela 1. Przykładowe obliczenie czasu do uszkodzenia niebezpiecznego dla elementu elektromechanicznego		
Rodzaj elementu	Wyłącznik pozycyjny ze stykami normalnie zamkniętymi	
Parametr B_{10d}	wg tabeli C.1.	SIRIUS (SIEMENS)
	20.000.000	50.000.000
Średnia liczba dni pracy w roku d_{op}	280	
Średnia liczba godzin pracy w ciągu doby h_{op}	16 (dwie zmiany)	
Średni okres pracy elementu T_{cykl} [s]	14400 s = 4 h (dwa razy na zmianę)	
Średnia roczna liczba cykli pracy danego elementu n_{op}	1120	
Czas $MTTF_d$	wg tabeli C.1.	SIRIUS (SIEMENS)
	178.570 lat	446.430 lat

Tabela 2. Dla stycznika C1		
Rodzaj elementu	Stycznik z obciążeniem znamionowym	
Parametr B_{10d}	wg tabeli C.1.	SIRIUS (SIEMENS)
	2.000.000	1.333.333
Średnia liczba dni pracy w roku d_{op}	280	
Średnia liczba godzin pracy w ciągu doby h_{op}	16 (dwie zmiany)	
Średni okres pracy elementu T_{cykl} [s]	14400 s = 4 h (dwa razy na zmianę)	
Średnia roczna liczba cykli pracy danego elementu n_{op}	1120	
Czas $MTTF_d$	wg tabeli C.1.	SIRIUS (SIEMENS)
	17.857 lat	11.905 lat

Tabela C.1 (Uwaga 1.) w normie PN-EN ISO 13849-1 podaje sugerowaną zależność pomiędzy odsetkiem awarii niebezpiecznych (prowadzących do awarii funkcji bezpieczeństwa, a ogólną liczbą awarii). W wypadku gdy brak jest danych producenta, zaleca się przyjęcie, że 50% awarii jest awariami niebezpiecznymi. Wobec powyższego można przyjąć, że czas parametr $MTTF_d$ jest dwukrotnie dłuższy od $MTTF$ i wynosi 10.054 lata (nie należy oczywiście utożsamiać tego czasu z czasem życia wyłącznika!). A zatem $MTTF_{dMVS} = 10.054$ lat. Jest to wartość WYSOKA.

Ponieważ wyłącznik jest monitorowany z wykorzystaniem styków pomocniczych, można przyjąć, że jego pokrycie diagnostyczne $DC_{MVD} = 99\%$. Jest to również wartość WYSOKA.

Elementy stykowe (głównie elektromechaniczne) mają zdefiniowany pośredni parametr B_{10d} służący do obliczania czasu $MTTF_d$ z uwzględnieniem częstotliwości użycia elementu, która rzutuje na jego niezawodność. Poniżej przedstawiono dwa wzory pozwalające na obliczenie wartości $MTTF_d$:

$$n_{op} = \frac{d_{op} \cdot h_{op} \cdot 3600}{T_{cykl}} \quad (2)$$

gdzie:

- n_{op} – średnia roczna liczba cykli pracy danego elementu;
- d_{op} – średnia liczba dni pracy maszyny/elementu w roku;
- h_{op} – średnia liczba godzin pracy w ciągu doby;
- T_{cykl} – średni czas w sekundach pomiędzy rozpoczęciem dwóch kolejnych cykli pracy elementu (np. otwarcie drzwi).

$$MTTF_d = \frac{B_{10d}}{0,1 n_{op}} \quad (3)$$

Wzór (3) wynika z przyjęcia na potrzeby normy [5] upraszczających założeń statystycznych dotyczących uszkodzalności elementów elektromechanicznych i pneumatycznych.

Aby obliczona wyżej wartość czasu do uszkodzenia niebezpiecznego była użyteczna w procesie ustalania poziomu zapewnienia bezpieczeństwa PL, należy na podstawie uzyskanej wartości liczbowej dokonać jeszcze zaklasyfikowania tego czasu do jednego w trzech przedziałów wartościowych podanych w tabeli 5. normy [5]. Wartość przekraczająca 30 lat jest klasyfikowana jako WYSOKA, jednak aby nie tracić dokładności obliczeń (jak wynika z raportu BGIA) zaklasyfikowania czasu do przedziału należy dokonywać dopiero w końcowym etapie – dla kanałów.

Zatem dla $SW1$ i $SW2$ otrzymujemy $MTTF_{dSW} = 446.430$ lat (dla obu kanałów identycznych wartość jest taka sama jak dla jednego kanału) i może być określona jako WYSOKA.

Pokrycie diagnostyczne dla wyłącznika krańcowego (na podstawie tabeli E.1 w normie [5]) wynosi $90\% \leq DC_{SW} \leq 99\%$ – co odpowiada wartości ŚREDNIEJ.

Analogicznie otrzymujemy (po założeniu określonych czasów i częstości użycia – na podstawie danych uzgodnionych z użytkownikiem) – tabela 2.

Zatem $MTTF_{dCI} = 11.905$ lat. Jest to wartość WYSOKA.

Pokrycie diagnostyczne dla tego elementu wynosi (przy założeniu, że wykorzystane zostanie sprzężenie zwrotne, jak to uwidoczniono na rys. 5) $DC_{CI} = 99\%$. Jest to wartość WYSOKA.

W tabelach 1 i 2 pokazano dodatkowo różnicę pomiędzy wartościami $MTTF_d$ (B_{10d}) przyjmowanymi według standardów ogólnych (tabela C.1. w normie [5]), a udokładnionymi danymi producenta.

Zatem $MTTF_{dCI} = 54$ lata. Jest to wartość WYSOKA.

Połączenie kaskadowe (szeregowe) stycznika i hamulca posiada współczynnik $MTTF$ obliczany na podstawie wzoru:

$$MTTF_{dCI \& EB} = \frac{MTTF_{dCI} \cdot MTTF_{dEB}}{MTTF_{dCI} + MTTF_{dEB}} \quad (4)$$

Tabela 3. Dla hamulca/luzownika EB

Rodzaj elementu	Urządzenie bezpieczeństwa pracujące z maksymalnym obciążeniem roboczym
Parametr B_{10d}	wg tabeli C.1.
	6.050
Średnia liczba dni pracy w roku d_{op}	280
Średnia liczba godzin pracy w ciągu doby h_{op}	16 (dwie zmiany)
Średni okres pracy elementu T_{cykl} [s]	14400 s = 4 h (dwa razy na zmianę)
Średnia roczna liczba cykli pracy danego elementu n_{op}	1120
Czas $MTTF_d$	wg tabeli C.1.
	54 lata

Tabela 4. Zestawienie warunków obliczania współczynnika CCF na podstawie tabeli I.1 z normy [5]

Opis warunku	Spełnienie	Punktacja
Fizyczna separacja ścieżek sygnałów	Sygnały wyłącznika pozycyjnego prowadzone jednym kablem	0
Zróżnicowane technologie	W jednym kanale stycznik i hamulec, a w drugim wyłącznik SN	20
Ochrona przepięciowa, nadmiarowo prądowa itd.	Zapewniona w projekcie rozdzielni	15
Właściwe elementy	Zapewnione w projekcie	5
Analiza uszkodzeń	Wykonana	5
Kompetencja projektanta/wykonawcy	Zapewniona	5
Kompatybilność elektromagnetyczna	Spełnione konstrukcyjnie według wytycznych producentów	25
Kompatybilność środowiskowa	Wibracje	0
RAZEM		75

Zatem $MTTF_{dCIEB} = 53,76$ lat. Jest to wartość WYSOKA.

Pokrycie diagnostyczne dla tego elementu wynosi (przy założeniu, że wykorzystane zostanie sprzężenie zwrotne, jak to uwiidoczniiono na rys. 5) $DC_{EB} = 99\%$. Jest to wartość WYSOKA.

$MTTF_{dMVD CIEB}$ wypadkowy dla obu kanałów jest odliczany na podstawie równania symetryzującego ze wzoru:

$$MTTF_{dMVD CIEB} = \frac{2}{3} \left[MTTF_{dMVD} + MTTF_{dCIEB} - \frac{1}{\frac{1}{MTTF_{dMVD}} + \frac{1}{MTTF_{dCIEB}}} \right] \quad (5)$$

Zatem $MTTF_{dMVD CIEB} = 80$ lat. Jest to wartość WYSOKA.

Analogicznie obliczyć należy średnie pokrycie diagnostyczne:

$$DC_{AVGMVDCIEB} = \frac{\frac{DC_{MVD} + DC_{C1} + DC_{EB}}{\frac{1}{MTTF_{dMVD}} + \frac{1}{MTTF_{dC1}} + \frac{1}{MTTF_{dEB}}}}{\frac{1}{MTTF_{dMVD}} + \frac{1}{MTTF_{dC1}} + \frac{1}{MTTF_{dEB}}} \quad (6)$$

Ze wzoru (6) otrzymujemy wartość $DC_{AVGMVDCIEB} = 99\%$, jest to wartość WYSOKA.

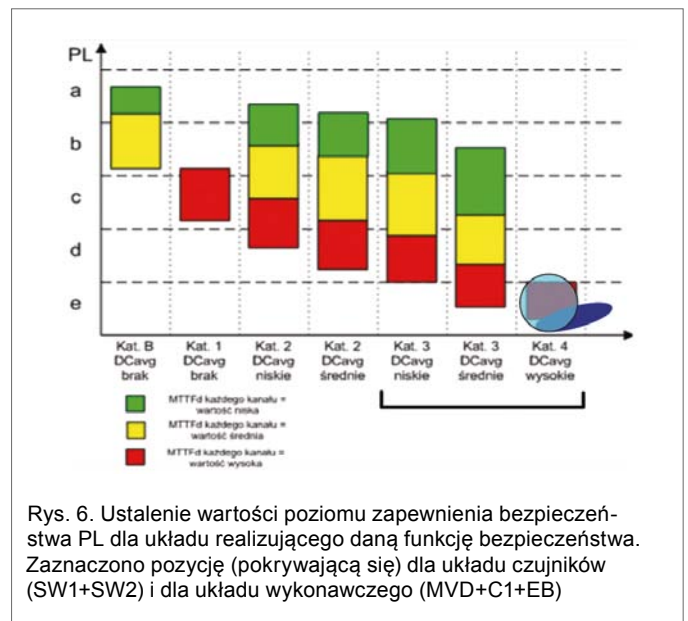
Zastosowany przełącznik bezpieczeństwa został przez producenta zdefiniowany jako zapewniający bezpieczeństwo na poziomie PL_e , zatem nie ma konieczności wykonywania obliczeń w tym zakresie.

W zakresie oszacowania wartości współczynnika CCF wyniki zestawiono w tabeli 4.

Jak wynika z tabeli 4 – warunek $CCF = 75 \geq 65$ został spełniony.

Kolejnym i ostatnim elementem jest weryfikacja projektu – zakładamy, że wykonana rzetelnie i osiągnięta.

Na rys. 7 zestawiono otrzymane na podstawie rys. 6 oraz danych znamionowych przełącznika bezpieczeństwa (SR) wartości



Rys. 6. Ustalenie wartości poziomu zapewnienia bezpieczeństwa PL dla układu realizującego daną funkcję bezpieczeństwa. Zaznaczono pozycję (pokrywającą się) dla układu czujników (SW1+SW2) i dla układu wykonawczego (MVD+C1+EB)

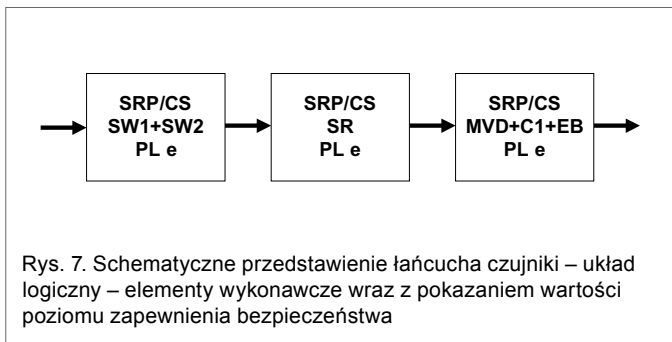
ści PL łańcucha urządzeń realizujących daną funkcję bezpieczeństwa. Ponieważ długość łańcucha nie przekracza trzech elementów, nie jest wymagana redukcja poziomu zapewnienia bezpieczeństwa (tabela 11 w normie [5]).

Wobec wyników powyższych rozważań zestawionych w tabeli 5 i na podstawie wykresu na rysunku 6 należy przyjąć, że układ realizujący funkcję bezpieczeństwa „Awaryjne zatrzymanie napędu taśmy od otwarcia bramki zabezpieczającej” osiągnął wymaganą dla eliminacji danego ryzyka wartość:

$$PL_e > PL_r$$

Tabela 5. Zestawienie parametrów syntetycznych dla układu realizującego funkcję bezpieczeństwa

Parametr	Wartość
Kategoria bezpieczeństwa	3
Średni czas do awarii niebezpiecznej	WYSOKI
Średnie pokrycie diagnostyczne	WYSOKIE
Odporność na awarie spowodowane wspólną przyczyną	75 pkt.
Weryfikacja	TAK



Podsumowanie

Ograniczone ramy niniejszej pracy nie pozwoliły na wyczerpujące omówienie szczegółów wszystkich wymienionych pojęć. W celu bliższego zapoznania z nimi można posłużyć się pozycją [4], a zwłaszcza normą [5 i 6].

Zadaniem powyższych rozważań jest uwypuklenie istotnych aspektów bezpieczeństwa występujących w procesie projektowania bezpiecznych maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego. Zamieszczony przykład obliczeniowy dotyczy realizacji jednej z wielu funkcji bezpieczeństwa, które muszą być ujęte w projekcie, lecz jako kompletny powinien dać podstawę do dalszych rozważań inżynierskich.

Literatura

- [1] DUDEK D.: *Zagrożenia degradacyjne ustrojów nośnych maszyn podstawowych w polskim górnictwie węgla brunatnego*. Problemy bezpieczeństwa w budowie i eksploatacji maszyn i urządzeń górnictwa podziemnego, CBiDGP, Łędziny 2009.
- [2] TRAJDOS M.: *Wprowadzenie do projektowania bezpiecznych systemów sterowania maszyn*. Problemy bezpieczeństwa w budowie i eksploatacji maszyn i urządzeń górnictwa podziemnego, CBiDGP, Łędziny 2010.
- [3] GUZEWSKI T., TRAJDOS M.: *Wybrane funkcje bezpieczeństwa systemów sterowania – funkcje bezpieczeństwa zintegrowane w urządzeniach przemysłowych*. Problemy bezpieczeństwa w budowie i eksploatacji maszyn i urządzeń górnictwa podziemnego, CBiDGP, Łędziny 2010.
- [4] ŁUKASZYŃSKI M., GUZEWSKI T., TRAJDOS M., TUPACZ A., WIATRZYK Ł.: *Projektowanie bezpiecznych systemów sterowania maszyn wg EN ISO 13849-1*. LUC, Opole 2010.
- [5] Norma PN-EN ISO 13849-1:2006 Bezpieczeństwo maszyn – Elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem – Część 1: Ogólne zasady projektowania.
- [6] Norma PN-EN ISO 13849-2:2005 Bezpieczeństwo maszyn – Elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem – Część 2: Walidacja.

mgr inż. Marek Trajdos – Partner Serwis Sp. z o.o., dyrektor ds. Zarządzania Wiedzą i Rozwoju Produktowego Partner Serwis Sp. z o.o. Autor zajmuje się zawodowo automatyką napędu elektrycznego i bezpieczeństwem maszyn nowo wprowadzanych na rynek WE i użytkowanych. Brał też czynny udział w uruchomieniu wielu aplikacji górnictwa odkrywkowego, między innymi: ZGOT, Z96 i K42 (KWB Bełchatów) oraz Z48, K17 i PGOT (KWB Turów). Od lat współpracuje merytorycznie z IGO Poltegor, BEA Polska, Poltegor Projekt i Fugo Projekt w realizacji projektów w branży górnictwa odkrywkowego węgla brunatnego. Był uczestnikiem wszystkich konferencji ELGOR i wielokrotnym uczestnikiem innych branżowych konferencji i sympozjów naukowych. Firma Partner Serwis posiada tytuł Solution Partner, uprawnienia serwisowe w zakresie przekształtników niskiego napięcia i dystrybucyjne Siemens

artykuł recenzowany