

## Bezpieczeństwo funkcjonalne układów sterowania maszyn górniczych

### Streszczenie

Maszyna, we wszystkich fazach swojego cyklu życia, stwarza szereg zagrożeń. Redukcja ryzyka związanego z danym zagrożeniem może być osiągnięta poprzez zastosowanie układu sterowania, który realizując funkcję bezpieczeństwa nie dopuszcza do osiągnięcia niedozwolonego stanu pracy maszyny. W artykule zaprezentowano, na przykładzie górniczego przenośnika taśmowego, zapewnienie bezpieczeństwa funkcjonalnego układu sterowania maszyny górniczej.

### Summary

Machine causes many hazards in all its life stages. Risk related to a given hazard can be reduced by using the control system with the safety function which does not allow reaching not acceptable state of the machine operation. Functional safety of the control system of mining machine is presented on the example of mine belt conveyor.

**Słowa kluczowe:** bezpieczeństwo maszyn, poziom bezpieczeństwa, identyfikacja zagrożeń, szacowanie ryzyka, poziom nienaruszalności SIL

**Keywords:** safety of machines, safety level, identification of hazards, risk estimation, Safety Integrity Level (SIL)

## 1. Wprowadzenie

Maszyny muszą być tak zaprojektowane, aby ryzyko związane z każdym zidentyfikowanym zagrożeniem było ograniczone do akceptowalnego poziomu. Przy podejmowaniu decyzji o sposobie ograniczenia ryzyka należy kierować się zasadą, że pierwszeństwo mają rozwiązania konstrukcyjne bezpieczne same w sobie, następnie techniczne i uzupełniające środki ochronne (zmiana konstrukcji, kontrolowanie potencjalnych źródeł ryzyka poprzez wprowadzenie dodatkowych środków zabezpieczających), a w dalszej kolejności działania organizacyjne (projektowanie bezpiecznych metod pracy, zapewnienie sprzętu ochrony osobistej). Redukcja ryzyka poprzez zastosowanie układu sterowania (elektrycznego, elektronicznego, elektronicznego programowalnego, hydraulicznego, pneumatycznego) skutkuje koniecznością uwzględnienia zagrożenia związanego z jego ewentualnym, wadliwym działaniem [2]. Takie podejście wynika z dyrektywy maszynowej 2006/42/WE [4], zgodnie z którą układy sterowania należy projektować i wykonać tak, aby:

- zapewniały bezpieczeństwo oraz zapobiegały sytuacji zagrożenia,
- defekty sprzętu komputerowego i oprogramowania układu sterowania nie prowadziły do powstawania sytuacji niebezpiecznych,
- były odporne na obciążenia wynikające z zamierzonego zastosowania oraz na wpływ czynników zewnętrznych,

- błędy w układach logicznych nie doprowadziły do sytuacji niebezpiecznych,
- możliwe do przewidzenia błędy ludzkie nie doprowadziły do powstania sytuacji niebezpiecznych.

Układy sterowania maszyn powinny realizować założone funkcje sterownicze nawet w warunkach uszkodzeń lub zakłóceń, w przewidywalny sposób i z określoną niezawodnością, przez cały cykl życia maszyny. Podjęte środki minimalizujące prawdopodobieństwo wystąpienia takich uszkodzeń lub zakłóceń i ich zakres zależy od poziomu ryzyka związanego z określoną funkcją sterowniczą np. zrealizowaną w technice elektrycznej [5].

Istotne jest jednak pytanie, kto i w oparciu o jakie przesłanki, określa poziom niezawodności (odporności na uszkodzenia i zakłócenia) funkcji bezpieczeństwa realizowanych przez układy sterowania maszyn górniczych? W niniejszym artykule autor przedstawia odpowiedź na to pytanie.

## 2. Identyfikacja funkcji bezpieczeństwa

Układy sterowania maszyn realizują zarówno funkcje sterownicze związane z normalnym działaniem maszyny np. załączenie i wyłączenie napędu, jak i funkcje bezpieczeństwa. Przez funkcję bezpieczeństwa należy rozumieć funkcję maszyny, której uszkodzenie (brak realizacji) skutkuje bezpośrednim wzrostem ryzyka.

**Funkcje bezpieczeństwa realizowane przez układ sterowania przenośnika taśmowego**

Tabela 1

Lp.	Funkcja bezpieczeństwa	Potencjalne skutki braku realizacji funkcji po jej przywołaniu
1.	Wyłączenie i zatrzymanie awaryjne inicjowane z pulpitu sterowniczych oraz z trasy przenośnika za pomocą wyłączników awaryjnych linkowych.	Nieodwracalne uszkodzenie ciała, utrata życia.
2.	Wyłączenie i zatrzymanie awaryjne po przekroczeniu dopuszczalnej temperatury zespołu napędowego, wysięgnika, zwrotni, stacji napinającej.	Pożar - zapalenie się taśmy przenośnika wskutek nieprawidłowego prowadzenia taśmy (tarcia taśmy o elementy konstrukcyjne zespołu napędowego, wysięgnika, zwrotni i stacji napinającej). Zagrożenie utraty życia wielu osób.
3.	Wyłączenie i zatrzymanie awaryjne po obniżeniu prędkości taśmy poniżej 0,7 prędkości znamionowej, utrzymującej się przez okres dłuższy od 3 s (poślizg) lub przy wzroście prędkości powyżej 1,2 prędkości znamionowej.	Pożar – zapalenie się taśmy przenośnika wskutek jej poślizgu na bębnach lub niekontrolowany ruch taśmy z urobkiem (praca na upadzie). Zagrożenie utraty życia wielu osób.
4.	Wyłączenie i zatrzymanie awaryjne w przypadku spiętrzenia urobku na przesypie.	Pożar – tarcie taśmy o urobek oraz utrudnienie przewietrzania wyrobiska wskutek zmniejszenia przekroju wyrobiska. Zagrożenie utraty życia wielu osób.
5.	Wyłączenie zasilania energią elektryczną przenośnika w przypadku uruchomienia instalacji do samoczynnego gaszenia pożarów.	Porażenie w następstwie zalania wodą urządzeń elektrycznych będących pod napięciem. Nieodwracalne uszkodzenie ciała, utrata życia.
6.	Wyłączenie i zatrzymanie awaryjne w przypadku braku potwierdzenia zwolnienia hamulców przenośnika, podczas jego pracy.	Pożar. Możliwość pracy napędu przenośnika przy załączonym hamulcu. Zagrożenie wielu osób.
8.	Wyłączenie i zatrzymanie awaryjne po przejechaniu przez osobę jadącą na taśmie przenośnika pomostu do wysiadania.	Nieodwracalne uszkodzenie ciała, utrata życia.

Przykładowymi funkcjami bezpieczeństwa, według PN-EN ISO 13849-1:2008 [6] są:

- funkcja zatrzymania, inicjowana przez osłony ryglowane lub urządzenia zabezpieczające przed przekroczeniem dopuszczalnej prędkości, temperatury lub ciśnienia,
- ręczne resetowanie funkcji,
- załączenie i ponowne załączenie,
- funkcja sterowania lokalnego,
- funkcja czasowego zawieszenia funkcji bezpieczeństwa (funkcja muting),
- sterowanie podtrzymaniem niebezpiecznego ruchu,
- sterowanie zezwalające,
- zabezpieczenie przed niezamierzonym uruchomieniem,
- ucieczka i ratowanie uwięzionych osób,
- odłączenie (izolowanie) od zasilania i rozpraszanie energii,
- wybór rodzaju pracy,
- wzajemne oddziaływanie pomiędzy podzespołami systemu sterowania,
- monitorowanie wejściowych parametrów związanych z bezpieczeństwem,
- funkcja zatrzymania awaryjnego (uzupełniający środek ochronny).

O tym, czy dana funkcja sterownicza jest funkcją bezpieczeństwa, decyduje wynik szacowania ryzyka (elementu procesu analizy i oceny ryzyka), podczas którego uwzględnia się wymierne skutki rozważanego zagrożenia i prawdopodobieństwo zaistnienia zdarzenia zagrażającego. Jeżeli skutki braku realizacji funkcji sterowniczej są ciężkie i wystąpienie zdarzenia zagrażającego jest możliwe, to mamy do czynienia z nieakceptowalnym ryzykiem, które powinno być zminimalizowane za pomocą funkcji bezpieczeństwa. Układy sterowania realizujące funkcje bezpieczeństwa należy zaprojektować zgodnie z wymaganiami norm dotyczących bezpieczeństwa funkcjonalnego [6, 8], rozumianego, jako część bezpieczeństwa maszyny, która zależy od poprawnego działania układu sterowania oraz zewnętrznych środków redukcji ryzyka [2], a następnie dokonać ich walidacji [7, 8].

Zakładając, że bezpieczeństwo użytkownika maszyny zależy przede wszystkim od prawidłowego działania układu sterowania, w tabeli 1 wymieniono przykładowe funkcje bezpieczeństwa dla przenośnika taśmowego.

Po zidentyfikowaniu funkcji bezpieczeństwa należy określić wszystkie, specyficzne wymagania, tak aby były realizowane niezawodnie w przewidywanym środowisku pracy. Należy m.in. określić warunki otoczenia i działania (zakres napięcia zasilania, środowisko elektromagnetyczne, temperaturę otoczenia, stopień zanieczyszczenia, zakres wilgotności, maksy-

malne wartości wibracji, odporność na udary mechaniczne), wymagania dotyczące przywołania (inicjowania) funkcji (zakres pomiarowy, dokładność i czas reakcji), wymagania dotyczące obsługi i wymagania dotyczące poszczególnych elementów układu sterowania (czujnik, urządzenie sterownicze, urządzenie testujące, urządzenie wykonawcze).

### 3. Wymagany poziom bezpieczeństwa

Podstawowym krokiem analizy bezpieczeństwa funkcjonalnego jest przypisanie każdej, zidentyfikowanej funkcji bezpieczeństwa dopuszczalnego poziomu ryzyka, wyrażonego, zgodnie z normą PN-EN ISO 13849-1:2008 [6], wymaganym poziomem bezpieczeństwa PL<sub>r</sub> (required performance level) (tabela 2) lub, zgodnie z normą PN-EN 62061:2008 [8], poziomem nienaruszalności bezpieczeństwa SIL (safty integrity level) (tabela 3). Projektowany układ sterowania realizujący funkcję bezpieczeństwa powinien się charakteryzować poziomem bezpieczeństwa nie gorszym, od poziomu wymaganego, określonego na podstawie wyżej wymienionych norm. W nielicznych przypadkach, w normach dotyczących danego rodzaju maszyn, określono minimalny wymagany poziom bezpieczeństwa elementów układów sterowania oraz jego elementów. Przykładem może być norma PN-EN 12111:2014-07 [9], zgodnie z którą elementy związane z bezpieczeństwem systemów sterowania kombajnów chodnikowych i maszyn do urabiania ciągłego powinny spełniać wymagania co najmniej poziomu PL c.

W normie PN-EN ISO 13849-1:2008 [6] oraz PN-EN 62061:2008 [8] poziomy zapewnienia/nienaruszalności bezpieczeństwa są wyrażone w wartościach prawdopodobieństwa niebezpiecznych uszkodzeń na godzinę (PFH<sub>D</sub>) – tabela 2 i 3.

**Poziom bezpieczeństwa (PL) według PN-EN ISO 13849-1:2008 [6]**

Tabela 2

PL	Prawdopodobieństwo niebezpiecznych uszkodzeń na godzinę (PFH <sub>D</sub> )
a	$\geq 10^{-5}$ do $< 10^{-4}$
b	$\geq 3 \times 10^{-6}$ do $< 10^{-5}$
c	$\geq 10^{-6}$ do $< 3 \times 10^{-6}$
d	$\geq 10^{-7}$ do $< 10^{-6}$
e	$\geq 10^{-8}$ do $< 10^{-7}$

**Poziom nienaruszalności bezpieczeństwa (SIL) według PN-EN 62061:2008 [8]**

Tabela 3

SIL	Prawdopodobieństwo niebezpiecznych uszkodzeń na godzinę (PFH <sub>D</sub> )
3	$\geq 10^{-8}$ do $< 10^{-7}$
2	$\geq 10^{-7}$ do $< 10^{-6}$
1	$\geq 10^{-6}$ do $< 10^{-5}$

Podczas szacowania ryzyka rozważa się sytuację poprzedzającą przywołanie (inicjację) rozpatrywanej funkcji bezpieczeństwa, uwzględniając wszystkie zastosowane techniczne środki redukcji ryzyka, inne niż układ sterowania (np. osłony mechaniczne), lub dodatkowe funkcje bezpieczeństwa.

Wymagany poziom PL<sub>r</sub>/SIL każdej funkcji bezpieczeństwa zależy od ciężkości szkody (urazu) oraz prawdopodobieństwa jej wystąpienia. Prawdopodobieństwo powstania szkody określa się na podstawie częstotliwości i czasu ekspozycji osób na zagrożenie, możliwości uniknięcia zagrożenia lub ograniczenia szkody oraz dodatkowo, tylko przy określaniu poziomu SIL, możliwości wystąpienia zdarzenia niebezpiecznego.

Na podstawie wyżej wymienionych parametrów, zgodnie z Załącznikiem A normy PN-EN ISO 13849-1:2008 [6], każdej funkcji bezpieczeństwa przypisuje się jeden wymagany poziom bezpieczeństwa. Rozróżnia się pięć poziomów bezpieczeństwa PL<sub>r</sub>, od PL<sub>r</sub> a do PL<sub>r</sub> e (tabela 5), różniących się udziałem danej funkcji w redukcji ryzyka (PL<sub>r</sub> a – najmniejszy udział w redukcji ryzyka, PL<sub>r</sub> e – największy udział w redukcji ryzyka). Oznacza to, że im wyższy poziom bezpieczeństwa, tym większe znaczenie funkcji bezpieczeństwa i wyższe wymagania dotyczące niezawodności.

Podczas określania wymagań dla układów sterowania realizujących funkcje bezpieczeństwa można wykorzystać metodę szacowania ryzyka i przypisywania poziomu nienaruszalności bezpieczeństwa SIL opisaną w Załączniku A normy PN-EN 62061:2008 [8]. W metodzie tej ciężkość uszkodzenia ciała lub szkody na zdrowiu (Se) można oszacować z uwzględnieniem odwracalnych uszkodzeń, nieodwracalnych uszkodzeń i śmierci (tabela 6).

Klasa prawdopodobieństwa wystąpienia szkody jest wyrażona liczbą (Cl), będącą sumą liczb przypisanych na podstawie klasyfikacji częstotliwości i czasu trwania ekspozycji (Fr – tabela 7), klasyfikacji prawdopodobieństwa wystąpienia niebezpiecznego zdarzenia (Pr – tabela 8) oraz prawdopodobieństwa uniknięcia lub ograniczenia szkody (Av – tabela 9).

Miejsce przecięcia wiersza ciężkości (Se) z odpowiednią kolumną (Cl) wskazuje na SIL przypisany danej funkcji (obszar czarny) realizowanej przez układ sterowania. Kolorem szarym zaznaczono ryzyko związane z danym zagrożeniem, które może być zaakceptowane pod warunkiem zastosowania, innych środków bezpieczeństwa (OM - Other Means), np. kategorii B według PN-EN ISO 13849-1.

**Wymagany poziom bezpieczeństwa PL<sub>r</sub> (opracowanie własne na podstawie [6])**

Tabela 4

PL <sub>r</sub>	Ciężkość urazu	Częstotliwość i czas ekspozycji na zagrożenie	Możliwość uniknięcia lub ograniczenia szkody
	S	F	P
PL <sub>r</sub> a	S1	F1	P1
PL <sub>r</sub> b	S1	F1	P2
PL <sub>r</sub> b	S1	F2	P1
PL <sub>r</sub> c	S1	F2	P2
PL <sub>r</sub> c	S2	F1	P1
PL <sub>r</sub> d	S2	F1	P2
PL <sub>r</sub> d	S2	F2	P1
PL <sub>r</sub> e	S2	F2	P2
Objaśnienia	S1 - uraz lekki, odwracalny np. posiniaczenie, zranienie S2 - uraz ciężki np. amputacja kończyny lub nieodwracalny		
	F1 - rzadko, niezbyt często i/lub krótkotrwała ekspozycja na zagrożenie F2 - często, ciągle i/lub długotrwała ekspozycja na zagrożenie		
	P1 - możliwość uniknięcia zagrożenia lub ograniczenia szkody pod pewnymi warunkami, P2 - uniknięcie lub ograniczenia szkody mało prawdopodobne		

**Przypisanie poziomu nienaruszalności SIL funkcji bezpieczeństwa [8]**

Tabela 5

Konsekwencje	Ciężkość szkody (Se)	Klasa prawdopodobieństwa szkody (CI)				
		3-4	5-7	8-10	11-13	14-15
Nieodwracalne: śmierć, utrata oka, ręki	4	SIL 2	SIL 2	SIL 2	SIL 3	SIL 3
Nieodwracalne: złamania, utrata palca	3		(OM)	SIL 1	SIL 2	SIL 3
Odwracalne: interwencja lekarza	2			(OM)	SIL 1	SIL 2
Odwracalne pierwsza pomoc	1				(OM)	SIL 1

**Klasyfikacja częstotliwości i czasu trwania ekspozycji (Fr) [8]**

Tabela 6

Fr	
Częstotliwość ekspozycji	Czas > 10 min.
≤ 1 h	5
> 1 h do ≤ 1 dzień	5
> 1 dzień do ≤ 2 tygodnie	4
> 2 tygodnie do ≤ 1 rok	3
> 1 rok	2

**Klasyfikacja prawdopodobieństwa wystąpienia niebezpiecznego zdarzenia (Pr) [8]**

Tabela 7

Pr	
Prawdopodobieństwo wystąpienia	Prawdopodobieństwo (Pr)
Bardzo wysokie	5
Prawdopodobne	4
Możliwe	3
Rzadkie	2
Pomijalne	1

Klasyfikacja prawdopodobieństwa uniknięcia lub ograniczenia szkody (Av) [6]

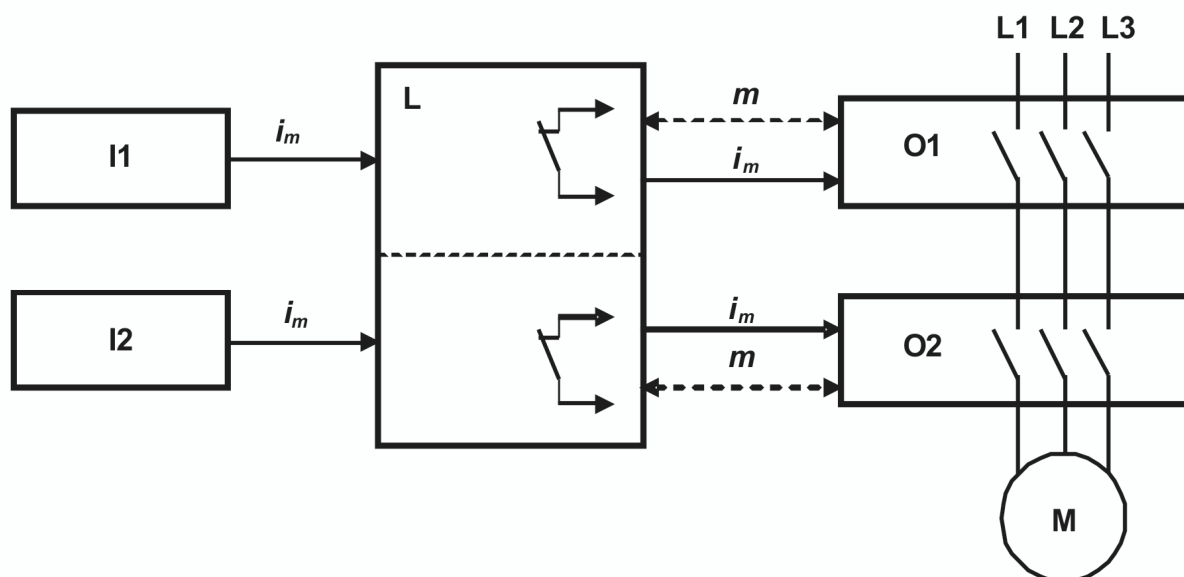
Tabela 8

Av	
Prawdopodobieństwo uniknięcia lub ograniczenia szkody (Av)	
Nieosiągalne	5
Rzadkie	3
Prawdopodobne	1

Wymagany poziom PL<sub>r</sub> / SIL funkcji bezpieczeństwa realizowanych przez układ sterowania przenośnika taśmowego

Tabela 9

Lp.	Funkcja bezpieczeństwa	Wymagany poziom	
		PL <sub>r</sub>	SIL
1.	Wyłączenie i zatrzymanie awaryjne inicjowane z pulpitu sterowniczego oraz z trasy przenośnika za pomocą wyłączników awaryjnych linkowych.	PL <sub>r</sub> d	SIL 2
2.	Wyłączenie i zatrzymanie awaryjne po przekroczeniu dopuszczalnej temperatury zespołu napędowego, wyciągnika, zwrotni, stacji napinającej.	PL <sub>r</sub> c	SIL 2
3.	Wyłączenie i zatrzymanie awaryjne po obniżeniu prędkości taśmy poniżej 0,7 prędkości znamionowej, utrzymującej się przez okres dłuższy od 3 s (poślizg) lub przy wzroście prędkości powyżej 1,2 prędkości znamionowej.	PL <sub>r</sub> c	SIL 2
4.	Wyłączenie i zatrzymanie awaryjne w przypadku spiętrzenia urobku na przesypie.	PL <sub>r</sub> c	SIL 2
5.	Wyłączenie zasilania energią elektryczną przenośnika w przypadku uruchomienia instalacji do samoczynnego gaszenia pożarów.	PL <sub>r</sub> c	SIL 2
6.	Wyłączenie i zatrzymanie awaryjne w przypadku braku potwierdzenia zwolnienia hamulców przenośnika, podczas jego pracy.	PL <sub>r</sub> c	SIL 2
8.	Wyłączenie i zatrzymanie awaryjne po przejechaniu przez osobę jadącą na taśmie przenośnika pomostu do wysiadania.	PL <sub>r</sub> d	SIL 2



Rys.1. Przykład architektury układu sterowania realizującego funkcję bezpieczeństwa z poziomem SIL 2 (Oznaczenia: I1, I2 – urządzenie wejściowe/czujniki; L – moduł bezpieczeństwa; O1, O2 – urządzenie wyjściowe ( styczniki główne); m – monitoring;  $i_m$  – powiązanie pomiędzy elementami układu; M – silnik napędowy)



Parametrem decydującym o poziomie ryzyka, jest przede wszystkim ciężkość szkody, jaka może wystąpić wskutek braku realizacji funkcji bezpieczeństwa, po jej przywołaniu. Konsekwencje braku wykonania przykładowych funkcji bezpieczeństwa przENOŚNIKA TAŚMOWEGO, prawie zawsze są poważne dla zdrowia i życia osób obsługujących maszynę, a także przebywających w jej otoczeniu. Wymagany poziomem bezpieczeństwa PL<sub>d</sub>/poziom nienaruszalności bezpieczeństwa SIL układu sterowania realizującego przykładowe funkcje bezpieczeństwa przENOŚNIKA TAŚMOWEGO przedstawiono w tabeli 9.

Na podstawie powyższej tabeli można stwierdzić, że stosując metodę opisaną w PN-EN ISO 13849-1:2008 [6] oraz w PN-EN 62061:2008 [8] nie uzyskano identycznych wyników, co jest niewątpliwie ich wadą, którą należy usunąć podczas nowelizacji norm z zakresu bezpieczeństwa funkcjonalnego. Zmniejszenie wymaganego poziomu bezpieczeństwa jest możliwe tylko przez zmniejszenie ekspozycji osób na zagrożenie i/lub zastosowanie środków, które umożliwiają jego uniknięcie lub ograniczają potencjalną szkodę.

Zaprojektowanie układu sterowania dla realizacji wyżej wymienionych funkcji bezpieczeństwa, z poziomem nienaruszalności bezpieczeństwa SIL 2, nie jest zadaniem prostym. Osiągnięcie poziomu SIL 2 za pomocą prostej architektury jednokanałowej, bez funkcji diagnostycznych, nie jest możliwe [1, 3]. Stosunkowo łatwo zapewnić wysoki poziom nienaruszalności bezpieczeństwa podsystemu z elementami wejściowymi (czujnikami) oraz podsystemu przetwarzającego sygnały (przełączniki bezpieczeństwa). Zapewnienie niezawodnej realizacji funkcji bezpieczeństwa przez urządzenia wykonawcze jest możliwe, ale wymaga zastosowania dwukanałowej architektury podsystemu wykonawczego (rys.1).

#### 4. Podsumowanie

Redukcja ryzyka z wykorzystaniem układu sterowania staje się coraz bardziej powszechna. Nie zawsze jednak projektanci układów sterowania i producenci maszyn są świadomi obowiązku zapewnienia bezpieczeństwa funkcjonalnego. Jednym z podstawowych problemów jest konieczność zidentyfikowania funkcji bezpieczeństwa. W tym zakresie pomocne są normy zharmonizowane, które w nielicznych przypadkach określają funkcje bezpieczeństwa oraz wymagany poziom nienaruszalności bezpieczeństwa. W zdecydowanej większości przypadków, funkcje bezpieczeństwa są identyfikowane na podstawie oceny ryzyka, dotyczącej

wszystkich zagrożeń stwarzanych przez maszynę, we wszystkich fazach cyklu jej życia. Nieprawidłowe oszacowanie parametrów decydujących o poziomie ryzyka związanego z rozpatrywanym zagrożeniem może skutkować poważnymi konsekwencjami w dalszych działaniach. „Łagodne” podejście może spowodować, że zastosowane środki techniczne redukują ryzyko, ale do poziomu, który nie odpowiada aktualnemu poziomowi wiedzy technicznej. Natomiast zbyt „rygorystyczne” podejście może prowadzić do braku technicznych możliwości wykonania redundantnego układu sterowania z wysokim poziomem bezpieczeństwa, np. ze względu na dysponowanie jednym stycznikiem wykonawczym w obwodzie zasilania silnika napędowego maszyny. Dane wejściowe do projektowania powinny zawierać m.in. wykaz funkcji bezpieczeństwa oraz wymagania dla każdej funkcji, co ma szczególne znaczenie przy podzleceniu projektowania wyspecjalizowanej firmie. Ze względu na wagę problemu, ocenę ryzyka oraz ocenę bezpieczeństwa funkcjonalnego układów sterowania realizujących funkcje bezpieczeństwa, można zlecić wyspecjalizowanym, kompetentnym jednostkom zewnętrznym, takim jak ITG KOMAG.

#### Literatura

1. Figiel A., Krzystolik M.: Projektowanie maszyn górniczych z uwzględnieniem wymagań dotyczących systemów sterowania realizujących funkcje bezpieczeństwa. W: Innowacyjne, bezpieczne oraz efektywne techniki i technologie dla górnictwa. Człowiek – Maszyna – Środowisko. KOMTECH 2009. ISBN 978-83-60708-38-5, Gliwice 2009.
2. Figiel A., Krzystolik M.: Systemy sterowania maszyn górniczych realizujące funkcje bezpieczeństwa. Bezp. Pr. Ochr. Śr. Gór. 2010 nr 8 s. 8-14.
3. Figiel A.: Ograniczanie zagrożeń. Systemy sterowania maszyn realizujące funkcje bezpieczeństwa. Służby utrzymania ruchu 2(22)/2010, ISSN 1896-0677, Poznań 2010.
4. Dyrektywa nr 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn, zmieniająca dyrektywę 95/16/WE (MD).
5. PN-EN 60204-1:2010. Bezpieczeństwo maszyn. Wyposażenie elektryczne maszyn. Część 1: Wymagania ogólne.
6. PN-EN ISO 13849-1:2008. Bezpieczeństwo maszyn. Elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem. Część 1: Ogólne zasady projektowania.

- 
7. PN-EN ISO 13849-2:2013-04. Bezpieczeństwo maszyn. Elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem. Część 2: Walidacja.
  8. PN-EN 62061:2008. Bezpieczeństwo maszyn. Bezpieczeństwo funkcjonalne elektrycznych, elektronicznych i elektronicznych programowalnych systemów sterowania związanych z bezpieczeństwem.
  9. PN-EN 12111:2014-07. Maszyny do drążenia tuneli. Kombajny chodnikowe i maszyny do urabiania ciągłego. Wymagania bezpieczeństwa.

*Artykuł wpłynął do redakcji w grudniu 2014 r.*