

**PERIODICAL INSPECTION FREQUENCY OF  
PROTECTION SYSTEMS OF MACHINERY – CASE  
STUDIES**

**CZĘSTOŚĆ KONTROLI OKRESOWYCH SYSTEMÓW  
OCHRONNYCH DO MASZYN – PRZYKŁADY  
PRAKTYCZNE**

**Marek Dźwiarek<sup>\*</sup>, Olgierd Hryniewicz<sup>\*\*</sup>**

<sup>\*</sup> Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy,  
<sup>\*\*</sup> Systems Research Institute Polish Academy of Sciences  
e-mail: madzw@ciop.pl, Olgierd.Hryniewicz@ibspan.waw.pl

***Abstract:** Long-lasting exploitation of a machine usually brings about wear and tear of its subsystems due to deteriorated material properties and mechanical wearing, which means that all safety functions should be periodically inspected for finding any changes in parameter values that could reduce the control system capability to perform its function. Therefore in the CIOP-PIB and IBS PAN the simplified procedures were formulated that aimed at the insurance of maintaining the required availability of safety function throughout the lifetime of machinery. The paper presents practical examples of application of these procedures to different architectures of the systems. Those examples proved usability of developed procedures.*

***Keywords:** safety of machinery, protective systems, periodical inspection*

***Streszczenie:** Długotrwałe użytkowanie maszyny pociąga za sobą niszczenie jej podzespołów spowodowane pogorszeniem własności materiałowych i zużyciem mechanicznym. Oznacza to, że funkcje bezpieczeństwa powinny być okresowo sprawdzane w celu wykrycia jakichkolwiek zmian wartości parametrów, które mogą zmniejszyć zdolność układu sterowania do realizacji jego funkcji. W CIOP-PIB i IBS PAN opracowano uproszczone procedury wyznaczania częstości takich kontroli. Procedury te mają na celu zapewnienia utrzymania wymaganej dostępności funkcji bezpieczeństwa w całym okresie jej użytkowania. W artykule zaprezentowane są praktyczne przykłady zastosowania tych procedur do układów o różnej architekturze. Przykłady te potwierdzają ich przydatność tych procedur.*

***Słowa kluczowe:** bezpieczeństwo maszyn, systemy ochronne, kontrole okresowe*

## 1. Wstęp

Analizy wypadków przy obsłudze maszyn (patrz Dźwiarek 2004) wykazały, że 36% z nich było spowodowanych przez niewłaściwe funkcjonowanie urządzeń ochronnych realizujących funkcje bezpieczeństwa. Ponadto, w tej grupie wypadków poważne wypadki zdarzały się znacznie częściej (41%) niż w wypadkach bez związku z układem sterowania (7%). Wyniki te dowodzą jak istotne, ze względu na bezpieczeństwo operatora maszyny, jest zapewnienie pewności realizacji funkcji bezpieczeństwa przez urządzenia ochronne. Dlatego projektanci urządzeń ochronnych powinni stosować rozwiązania, które poprawiają ich odporność na uszkodzenia, co w praktyce zwykle oznacza stosowanie niezawodnych układów oraz architektury redundantnej. Istotne znaczenie ma także okresowe sprawdzanie działania tych urządzeń. Dlatego projektant maszyny powinien określić jak często zainstalowane na niej urządzenia ochronne powinny być poddawane kontroli okresowej. Niestety w obowiązujących normach nie ma zaleceń (wskazówek) odnośnie sposobu wyznaczania częstotliwości okresowych kontroli urządzeń ochronnych. Problem dotyczy urządzeń realizujących w maszynach takie funkcje bezpieczeństwa jak: związana z bezpieczeństwem funkcja zatrzymania uruchamiana przez urządzenie ochronne, ręczna funkcja resetowania, funkcja uruchomienia/powtórnego uruchomienia, funkcja lokalnego sterowania, zawieszenie wykonywania funkcji przez urządzenia ochronne, monitorowanie wielkości związanych z bezpieczeństwem parametrów wejściowych, monitorowanie parametrów związanych z bezpieczeństwem, takich jak szybkość, temperatura czy ciśnienie, reakcja na zmiany, utratę i przywrócenie zasilania. Ponieważ niezadziałanie tych funkcji może podnieść poziom ryzyka, ich projektanci powinni stosować rozwiązania, które zwiększają odporność urządzeń ochronnych na uszkodzenia.

Podstawowe zasady poprawy odporności urządzeń ochronnych na uszkodzenia zostały podane w normach EN ISO 13849-1 i IEC 62061. W normach tych odporność funkcji bezpieczeństwa na defekty określana jest wskaźnikami probabilistycznymi SIL i PL. Według obu wyżej wymienionych norm projektant układu sterowania maszyny powinien, biorąc pod uwagę wyniki oceny ryzyka, określić wymagany SIL lub PL dla każdej funkcji bezpieczeństwa realizowanej przez urządzenia ochronne. Parametry te określają prawdopodobieństwo wystąpienia defektów niebezpiecznych na godzinę pracy systemu  $\lambda_d$ :

$$\begin{aligned} \text{Pl}_a \text{ (brak odpowiednika SIL)} & 10^{-5} \leq \lambda_d < 10^{-4} \\ \text{Pl}_b \text{ (SIL 1)} & 3 \times 10^{-6} \leq \lambda_d < 10^{-5} \\ \text{Pl}_c \text{ (SIL 1)} & 10^{-6} \leq \lambda_d < 3 \times 10^{-6} \\ \text{Pl}_d \text{ (SIL 2)} & 10^{-7} \leq \lambda_d < 10^{-6} \\ \text{Pl}_e \text{ (SIL 3)} & 10^{-8} \leq \lambda_d < 10^{-7} \end{aligned} \quad (1)$$

Wymagany SIL lub PL powinien zostać osiągnięty poprzez zastosowanie rozwiązań konstrukcyjnych odpowiednich dla projektowanego układu sterowania (Dźwiarek 2006) i powinien zostać utrzymany przez cały okres użytkowania maszyny.

## 2. Procedury wyznaczania częstości kontroli okresowych systemów ochronnych do maszyn

Długotrwałe użytkowanie maszyny zwykle pociąga za sobą niszczenie jej podzespołów spowodowane pogorszeniem własności materiałowych i zużyciem mechanicznym. Zjawiska te mogą prowadzić do zmniejszenia uzyskanego SIL lub PL. Oznacza to, że wszystkie funkcje bezpieczeństwa powinny być okresowo sprawdzane w celu wykrycia jakichkolwiek zmian wartości parametrów, które mogą zmniejszyć zdolność układu sterowania do realizacji jego funkcji. Kwestie określania częstości kontroli okresowych systemów związanych z bezpieczeństwem analizowane były przede wszystkim w aspekcie infrastruktury krytycznej w przemyśle procesowym. Wynikało to zarówno z wielkości występujących tam zagrożeń, jak i ze znacznych kosztów związanych z koniecznością zatrzymania procesu na czas kontroli, a także kosztów jej przeprowadzenia. W efekcie opracowano niezwykle złożone procedury określania częstości kontroli okresowych takich systemów. Procedury te są zbyt złożone i kosztowne, aby mogły być stosowane do kontroli okresowych urządzeń ochronnych stosowanych do maszyn. Wynika to przede wszystkim z ich złożoności matematycznej. Dlatego też w CIOP-PIB we współpracy z IBS PAN opracowano procedury uproszczone (Dźwiarek & Hryniewicz 2012). Procedury te mają na celu zapewnienia utrzymania wymaganej dostępności A funkcji bezpieczeństwa w całym okresie jej użytkowania. Wymagana dostępność, pokazana w tabeli 1, określono w zależności od poziomu SIL lub PL.

Tabela 1. Wymagana dostępność układu na rok dla poszczególnych SIL i PL (źr. Dźwiarek & Hryniewicz 2012).

Poziom zapewnienia bezpieczeństwa(PL)	$A_r$	Poziom nienaruszalności bezpieczeństwa (SIL)
a	0,957	Nie dotyczy
b	0,987	1
c	0,997	1
d	0,99956	2
e	0,999956	3

Rozważane są trzy przypadki:

- 1) Układ szeregowy, gdy koszt przeglądu jest pomijalny. Wówczas (patrz Dźwiarek & Hryniewicz 2012) minimalną częstość prowadzenia kontroli wyznacz się ze wzoru:

$$T_0 = 2(1-A_r)/\lambda \quad (2)$$

gdzie:

- $T_0$  - czas między kontrolami,
- $A_r$  - wymagana dostępność,
- $\lambda$  - prawdopodobieństwo uszkodzenia na godz.

- 1) Układ redundantny. Dźwiarek & Hryniewicz 2012 proponują przeprowadzenie symetryzacji zgodnie z zał. D do EN ISO 13849-1 i potraktowanie układu jako jednokanałowego o  $\lambda$  wynikającym ze wzoru na symetryzację.
- 2) Przypadek, gdy kosztu związanego z prowadzeniem kontroli nie można pominąć. Stosuje się wówczas wzór:

$$T_0 = \sqrt{2\mu_0/\lambda} \quad (3)$$

gdzie  $\mu_0$  - oznacza czas przestoju maszyny w godz.

### **3. Przykłady wyznaczania częstości kontroli okresowych**

Poniżej przedstawimy praktyczne przykłady zastosowania opracowanych procedur. Będą to przykłady:

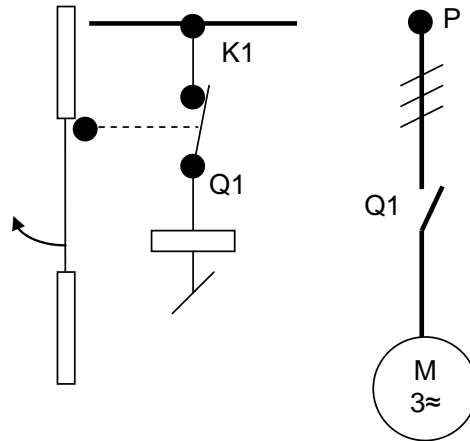
- 1) Najprostszy jednokanałowy system elektromechaniczny
- 2) Pneumatyczny system z monitorowaniem
- 3) Elektroniczny system redundantny

#### **1) Jednokanałowy system elektromechaniczny**

Rozważmy przypadek robota usytuowanego na końcu linii produkcyjnej (rys. 1). Dostęp do obszaru pracy takiego robota ograniczony jest przez wygrodzienia, stanowiące osłony stałe, wyposażone w drzwi dostępu. Otwarcie drzwi monitorowane jest za pomocą łącznika krańcowego, spełniającego wymagania kategorii 1 wg EN-ISO 13849-1:2008. Zadaniem łącznika jest zatrzymanie ruchu niebezpiecznego w przypadku otwarcia drzwi oraz zapobieganie niespodziewanemu uruchomieniu, gdy drzwi są zamknięte. Dostęp do obszaru pracy robota jest konieczny, w przypadku jego programowania lub w celach serwisowych. Wówczas operator maszyny powinien zatrzymać robota, wejść w obszar jego pracy i poprawić usterkę. Następnie opuszcza strefę niebezpieczną, zamyka drzwi i ponownie uruchamia robota. Ponieważ nieprawidłowe zadziałanie systemu bezpieczeństwa mogłoby spowodować niespodziewane uruchomienie robota, gdy operator znajduje się w strefie niebezpiecznej, co może skutkować poważnym uszkodzeniem ciała, a zdarzenia takie są stosunkowo rzadkie, więc zgodnie z EN – ISO 13849-1:2008 funkcja bezpieczeństwa powinna być zrealizowana na poziomie PL<sub>c</sub>. W deklaracji producenta dla łącznika krańcowego określono  $B_{10}K1 = 10^6$ , natomiast dla stycznika zadeklarowano  $B_{10} Q1 = 1,3 \times 10^6$ . Ponieważ linia pracuje przez 365 dni roboczych w ciągu roku i frakcja defektów niebezpiecznych wynosi 0,5 możemy więc przyjąć (patrz EN ISO 13849-1:2008) że MTTF systemu jest wysoki i wynosi 100. W takim przypadku mamy:

$$\lambda_d = 1,14 \times 10^{-6} \quad (4)$$

Kontrola sprawności systemu monitorowania drzwi dostępu wymagać będzie zatrzymania całej linii produkcyjnej. Zatrzymanie i ponowne jej uruchomienie może zająć całą zmianę. W takim przypadku korzystamy ze wzoru (3).



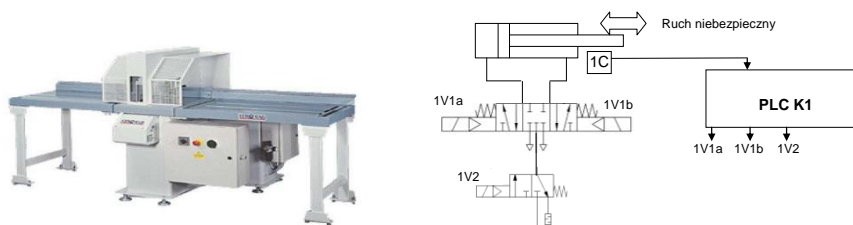
Rys. 1. Otworzenie drzwi w wygradzeniu robota powoduje otwarcie styków łącznika K i zablokowanie ruchu niebezpiecznego

Kontrola sprawności systemu monitorowania drzwi dostępu wymagać będzie zatrzymania całej linii produkcyjnej. Zatrzymanie i ponowne jej uruchomienie może zająć całą zmianę. W takim przypadku korzystamy ze wzoru (3).

$$\begin{aligned} \mu_0 &= 8h \\ T_0 &= \sqrt{16/1,14 \times 10^{-6}} = 3746h \approx 2 \text{ razy/rok} \end{aligned} \quad (5)$$

## 2) Pneumatyczny system z monitorowaniem

Rozważmy system posuwu w automatycznych obrabiarkach do drewna. Jest to zazwyczaj system pneumatyczny. Podczas normalnej obsługi operator nie ma potrzeby sięgać w obszar obróbki. Sięga tam natomiast w podczas uprzątkowania resztek wiórów. W takim przypadku niespodziewane uruchomienie posuwu może spowodować zmiżdżenie części ciała operatora. Zgodnie z EN – ISO 13849-1:2008 w takim przypadku wymagany jest poziom zapewnienia bezpieczeństwa PL<sub>d</sub>. Zazwyczaj realizuje się to poprzez monitorowanie ruchu posuwu za pomocą czujnika C1 (rys. 2).



Rys. 2. Monitorowanie posuwu w obrabiarce do drewna

W przypadku, gdy czujnik 1C wykaże nieprawidłowości ruchu tłoka siłownika pneumatycznego PLC K1 przesteruje zawór spustowy 1V2, wymuszając zatrzymanie wszelkich ruchów.

Załóżmy, że maszyna pracuje w trybie automatycznym przez 240 dni roboczych w roku, 16 godz. dziennie. Kierunek posuwu przełączany jest co 2 min. Według danych producenta  $B_{10} 1V1 = 10^6$ . Ponieważ frakcja defektów niebezpiecznych wynosi 50%, więc  $MTTF_d$  kanału funkcyjnego wyniesie:

$$MTTF_d 1V1 = 10^6 / (240 \times 16 \times 30 \times 0,10 \times 0,5) = 175,62 \text{ lat} \quad (6)$$

W przypadku kanału testowego TK (1C, K1 i 1V2) możemy założyć:

$$\begin{aligned} MTTF 1C &= 100 \text{ lat} \\ MTTF K1 &= 50 \text{ lat} \end{aligned} \quad (7)$$

Ponieważ 1V2 jest aktywizowany nie częściej niż raz na dobę i  $B_{10} 1V2 = 2 \times 10^5$ , więc:

$$MTTF 1V2 = 2 \times 10^5 / (240) \approx 5000 \text{ lat} \quad (8)$$

W efekcie:

$$MTTF_d TK = 1 / (1/2 \times MTTF 1C + 1/2 \times MTTF K1 + 1/2 \times MTTF 1V2) = 66,7 \text{ lat} \quad (9)$$

Ponieważ monitorowanie ruchu poprzez czujnik 1C jest monitorowaniem pośrednim, więc należy przyjąć pokrycie diagnostyczne małe,  $DC=60\%$ . Zgodnie z tablicą K1 w EN – ISO 13849-1:2008 prawdopodobieństwo wystąpienia defektu niebezpiecznego wyniesie:

$$\lambda_d = 5,28 \times 10^{-7} \quad (10)$$

Co odpowiada  $Pl_d$ , czyli wymagana dostępność wynosi  $A_r = 0,99956$ . Ponieważ kontrole okresowe mają na celu wykrycie wszystkich możliwych defektów, nie tylko niebezpiecznych, ale także takich, które nie powodują utraty funkcji bezpieczeństwa, a jedynie obniżają  $Pl$ , więc do dalszych obliczeń należy użyć prawdopodobieństwa wystąpienia w kanale funkcyjnym defektu niewykrytego na godz.  $\lambda_{nw}$  i defektu niebezpiecznego w kanale testującym:

$$\lambda = (0,4 / MTTF 1V1 + 1 / MTTF_d TK) / 8760h = 1,97 \times 10^{-6} \quad (10)$$

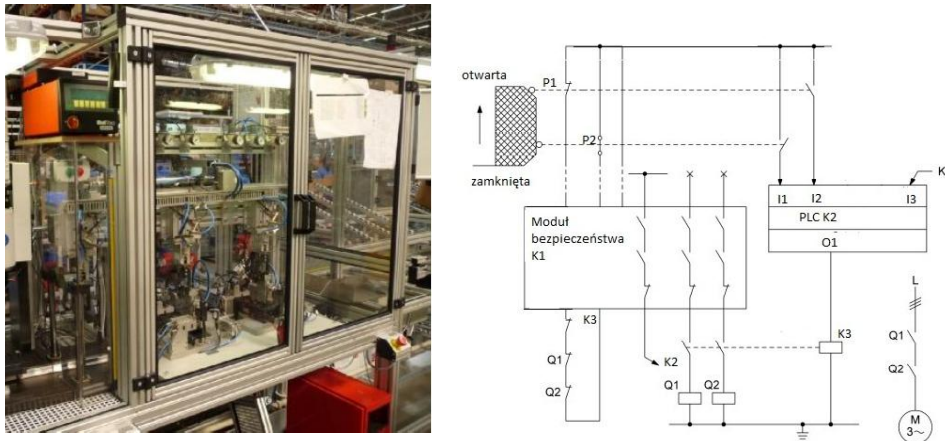
Częstość kontroli okresowych  $T_0$  możemy wyznaczyć korzystając ze wzoru (2):

$$T_0 = 2(1 - A_r) / \lambda = 446 \text{ h} \quad (11)$$

Uwzględniając, że maszyna pracuje przez około 320 h miesięcznie, więc kontrole powinny być wykonywane co około 1,5 miesiąca.

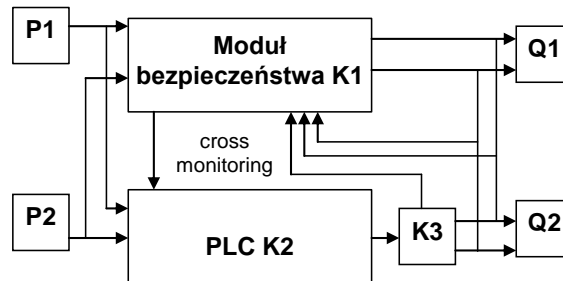
### 3) Elektroniczny system redundantny

Rozważmy przypadek automatu do kontroli końcowej wyrobu. Obsługa automatu polega na cyklicznym, co około 10 min., odbieraniu elementu sprawdzonego i podawaniu nowego. W tym celu konieczny jest dostęp do strefy zagrożenia. Dostęp ten ograniczony jest osłoną ruchomą (rys. 3.), której otwarcie aktywizuje funkcję bezpieczeństwa zapobiegającą przypadkowemu uruchomieniu.



Rys. 3. Osłona w automacie montażowym

Ponieważ przypadkowe uruchomienie napędów automatu w czasie, gdy operator sięga do strefy niebezpiecznej mogłoby spowodować trwałe uszkodzenie ciała, więc funkcja bezpieczeństwa powinna być zrealizowana na poziomie PL<sub>c</sub>. Ze względu na dużą częstość aktywizacji zastosowano system kategorii 4, w którym monitorowanie zamknięcia osłony realizowane jest przez dwa łączniki krańcowe P1 i P2. Sygnały z łączników przekazywane są równolegle do modułu bezpieczeństwa K1 i sterownika PLC 2. Moduł K1 steruje zatrzymaniem ruchu niebezpiecznego poprzez styczniki Q1 i Q2. Sterownik K2 działa równolegle do K1, wyłączając styczniki Q1 i Q2 za pośrednictwem przekaźnika K3. Moduł K3 sprawdza działanie styczników Q1 i Q2 oraz przekaźnika K3 poprzez ich styki dodatkowe, a także przesyła sygnał o swoim stanie do sterownika K2. Funkcjonalny schemat blokowy niezawodności systemu pokazany jest na rys. 4.



Rys. 4. Funkcjonalny schemat blokowy niezawodności funkcji monitorowania osłony

Podstawowy kanał realizacji funkcji bezpieczeństwa stanowią P1, P2, K1, Q1 o Q2 i Q2. Według danych producenta  $B_{10}$  P1 i P2 =  $10^6$ . Ponieważ P1 jest łącznikiem z bezpośrednim otwarciem styków zgodnie z IEC 60947-5-1, można wykluczyć defekt polegający na braku rozwarcia styków. Uwzględniając frakcję defektów niebezpiecznych równą 0,5 w przypadku elementów elektromechanicznych otrzymujemy:

$$\begin{aligned} \text{MTTF}_d \text{ P1} &= 2 \times 10^6 / (240 \times 16 \times 6 \times 0,5) = 173,60 \text{ lat} \\ \text{MTTF}_d \text{ P2} &= 10^6 / (240 \times 16 \times 20 \times 0,5) = 86,5 \text{ lat} \\ \text{MTTF}_d \text{ P1, P2} &= \text{MTTF}_d \text{ P1} + \text{MTTF}_d \text{ P2} = 260,1 \text{ lat} \end{aligned} \quad (12)$$

Ponieważ producent zadeklarował, że  $B_{10}$  Q1 i Q2 =  $10^7$  i  $B_{10}$  K3 =  $2 \times 10^6$  więc:

$$\begin{aligned} \text{MTTF}_d \text{ Q1, Q2} &= \text{MTTF}_d \text{ Q1} + \text{MTTF}_d \text{ Q2} = 2 \times 10^7 / (240 \times 16 \times 6 \times 0,5) = 1736 \text{ lat} \\ \text{MTTF}_d \text{ K3} &= 2 \times 2 \times 10^6 / (240 \times 16 \times 6 \times 0,5) = 347,2 \text{ lat} \end{aligned} \quad (13)$$

Producent modułu bezpieczeństwa K1 zadeklarował, że jest kategorii 4,  $Pl_e$  i  $\lambda_d$  K1 =  $2,31 \times 10^{-9}$ . Natomiast PLC jest sterownikiem standardowym i  $\text{MTTF}_d$  K2 = 50 lat. Tak więc w przypadku kanału podstawowego mamy:

$$\begin{aligned} \text{MTTF}_d \text{ P1, P2, Q1, Q2} &= 1 / (1 / \text{MTTF}_d \text{ P1, P2} + 1 / \text{MTTF}_d \text{ Q1, Q2}) = 226,60 \text{ lat} \\ \lambda_d \text{ P1, P2, Q1, Q2, K1} &= 1 / (8760 \times \text{MTTF}_d \text{ P1, P2, Q1, Q2}) + \lambda_d \text{ K1} = 5,27 \times 10^{-7} \\ \text{MTTF}_d \text{ P1, P2, Q1, Q2, K1} &= 1 / 8240 \times \lambda_d \text{ P1, P2, Q1, Q2, K1} = 230,40 \text{ lat} \end{aligned} \quad (14)$$

W skład kanału redundantnego wchodzi P1, P2, K2, K3 i Q1, Q2. W tym przypadku mamy:

$$\text{MTTF}_d \text{ P1, P2, Q1, Q2, K2, K3} = 1 / (1 / \text{MTTF}_d \text{ P1, P2} + 1 / \text{MTTF}_d \text{ Q1, Q2} + 1 / \text{MTTF}_d \text{ K2} + 1 / \text{MTTF}_d \text{ K3}) = 36,63 \text{ lat} \quad (15)$$

Stosując wzór na symetryzację mamy:

$$\text{MTTF}_d = 2/3 (\text{MTTF}_{d\text{Kanał1}} + \text{MTTF}_{d\text{Kanał2}} - 1 / (1 / \text{MTTF}_{d\text{Kanał1}} + 1 / \text{MTTF}_{d\text{Kanał2}})) = 156 \text{ lat} \quad (16)$$

Przy zastosowanych mechanizmach wzajemnego monitorowania kanałów można, zgodnie z ISO 13849-1:2008 Zał. E przyjąć pokrycie diagnostyczne DC = 99% (wysokie). Przy tych warunkach odczytujemy z tabeli K1 w ISO 13849-1:2008.

$$\lambda_d = 2,47 \times 10^{-8} \quad (17)$$



co odpowiada  $Pl_e$  i  $A_r = 0,999956$ .

Kontrola okresowa ma za zadanie wykrycie tych defektów poszczególnych zespołów systemu, których nie wykryły mechanizmy pokrycia diagnostycznego, co może spowodować zmniejszenie dostępności systemu. Prawdopodobieństwo wystąpienia takich defektów na godz. dla poszczególnych elementów systemu wynosi:

$$\begin{aligned}\lambda_{nw} P1 &= 0,01/(8760 \times 137,60) = 8,30 \times 10^{-9} \\ \lambda_{nw} P2 &= 0,01/(8760 \times 86,5) = 4,15 \times 10^{-9} \\ \lambda_{nw} Q1 = \lambda_{nw} Q3 &= 0,01/(8760 \times 868) = 1,32 \times 10^{-9} \\ \lambda_{nw} K3 &= 0,01/(8760 \times 347,2) = 3,29 \times 10^{-9} \\ \lambda_{nw} K1 &= 0,01 \times 12,31 \times 10^{-9} = 12,31 \times 10^{-11} \\ \lambda_{nw} K2 &= 0,01/(8760 \times 50) = 2,28 \times 10^{-8}\end{aligned}\quad (16)$$

Tak więc w pierwszym przybliżeniu możemy przyjąć, że prawdopodobieństwo wystąpienia defektu niewykrytego w systemie wyniesie:

$$\lambda_{nw} = 8,30 \times 10^{-9} + 4,15 \times 10^{-9} + 1,32 \times 10^{-9} + 1,32 \times 10^{-9} + 0,12 \times 10^{-9} + 2,28 \times 10^{-8} = 1,75 \times 10^{-8} \quad (17)$$

Korzystając ze wzoru ( 2 ) otrzymujemy:

$$T_0 = 2(1 - 0,999956) / 1,75 \times 10^{-8} = 5030 \text{ h} \approx 15 \text{ miesięcy} \quad (18)$$

#### 4. Podsumowanie, Wnioski

W przypadku dużych instalacji przemysłowych nieprzewidziane awarie powodują nie tylko znaczące zagrożenia dla ludzi i środowiska, ale także znaczne straty materialne wynikające z przerw w produkcji i problemów z wywiązaniem się z kontraktowych dostaw. Dlatego też problemy kontroli okresowych instalacji są dobrze rozpoznane. Praktycznie wszystkie instalacje przetwórcze mają opracowane procedury i harmonogramy przeglądów okresowych. Całkowicie inna sytuacja ma miejsce w przypadku użytkowników maszyn. Występujące przy ich obsłudze zagrożenia są co prawda znacznie mniejsze, ale także znaczące. Istotne znaczenie ma także fakt, że zdarzające się sporadycznie przestoje maszyn nie generują istotnych kosztów finansowych. Dlatego też, zgodnie z doświadczeniami autorów, kwestie kontroli okresowych systemów ochronnych do maszyn są często marginalizowane. Wynika to także z faktu, że systemy te są tak konstruowane, że prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzeń niebezpiecznych są stosunkowo małe i firmach o niewielkim parku maszynowym rzadko skutkują wystąpieniem wypadku. Problem pojawia się dopiero, gdy taki wypadek nastąpi. Lepiej pod tym względem prezentują się wielkie koncerny międzynarodowe. Ponieważ dysponują one ogromnym parkiem maszynowym, rozproszonym na całym świecie, więc stosunkowo często napotykać problemy związane z niesprawnością systemów ochronnych. Jednak zarówno w przypadku małych przedsiębiorstw, jaki i wielkich koncernów nadal brak jest jednoznacznych wytycznych, jak organizować kontrole okresowe maszyn. Przeprowadzone w referacie analizy pokazują, że w aspekcie pewności realizacji funkcji bezpieczeństwa kontrole okresowe odgrywają

niezwykle istotną rolę. Szczególne znaczenie mają one w przypadku systemów, które nie mają wbudowanych mechanizmów wykrywania defektów, a więc systemów kategorii B i 1. Samo poleganie na niezawodności elementów nie jest wystarczające. Uszkodzenie łącznika krańcowego nie zakłóci procesu produkcyjnego i może trwać niezauważone przez dłuższy czas. Nie ma problemu, jeśli drzwi dostępu zostaną otworzone, a łącznik nie zadziała. Problem pojawia się dopiero, jeśli przy otwartych drzwiach i uszkodzonym łączniku nastąpi nieprzewidziane uruchomienie ruchu niebezpiecznego, ale wtedy jest już za późno. Podobna sytuacja występuje w przypadku systemu kategorii 2. Formalnie niezawodność urządzenia testującego nie jest uwzględniana przy określaniu prawdopodobieństwa uszkodzenia niebezpiecznego. Jednak niesprawność kanał testującego, np. urządzenia kontrolującego zatrzymywanie posuwu w przykładzie 3.2 może powodować, że uszkodzeni napędu posuwu nie będzie wykryte, co może spowodować zagrożenia dla operatora maszyny.

W przypadku systemu kategorii 4, opisanego w 3.3, analiza niezawodnościowa pokazuje, że szczególne znaczenie ma uszkodzenie przekaźnika K3 i sterownika K2. Niewykryte uszkodzenia tych elementów nie powodują utraty funkcji bezpieczeństwa, ale prowadzą do zmniejszenia dostępności tej funkcji.

Osobną kwestią jest szkodliwe działanie człowieka. Ponieważ systemy bezpieczeństwa niejednokrotnie powodują utrudnienia w pracy, więc narażone są na działania operatorów maszyn, którzy dążą do ich obejścia. Przykład takiego działania pokazany jest na rys. 5, gdzie łącznik krańcowy jest neutralizowany przez przecięcie przewodu.



*Rys. 5. Obchodzenie urządzeń ochronnych*

W CIP-PIB jest aktualnie realizowane zadanie badawcze dotyczące analizy zjawiska obchodzenia urządzeń ochronnych i osłon do maszyn, pt.:

„Opracowanie zasad zapobiegania obchodzeniu przez pracowników urządzeń ochronnych i osłon stosowanych do maszyn w celach prewencji wypadkowej”

Według analiz przeprowadzonych w ramach tego zadania około 20% wypadków zaistniałych przy obsłudze maszyn miało miejsce w związku z obejściem systemów ochronnych. Badania ankietowe prowadzone były w 500 przedsiębiorstwach. Przedsiębiorstwa te zostały wylosowane przez Główny Urząd Statystyczny tak, aby stanowiły reprezentatywną próbkę przedsiębiorstw w Polsce. Przeprowadzono także wizyty studyjne w 5 zakładach pracy. Podczas wizyt przeanalizowano przykłady urządzeń ochronnych i osłon pod kątem możliwości ich obejścia oraz przypadki obejścia urządzenia ochronnego lub osłony. Przeprowadzone badania wykazały, że w ponad 30% przypadków urządzenia ochronne są permanentnie obchodzone. Dotyczy to zwłaszcza systemów, które nie są wyposażone w mechanizmy wykrywania uszkodzeń. Zjawiskom takim mogą bardzo skutecznie przeciwdziałać kontrole okresowe. Prowadzone w CIOP-PIB prace badawcze mają na celu uwzględnienie problematyki obchodzenia systemów ochronnych do maszyn w ustalaniu harmonogramów kontroli okresowych tych systemów.

## 5. Literatura

- [1] Dźwiarek, M. (2004). An analysis of Accident Caused by Improper Functioning of Machine Control Systems. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, Vol. 10 No. 2, 129-136
- [2] EN ISO 13849-1:2006 Safety of machinery - Safety-related parts of control systems - Part 1: General principles for design
- [3] EN 62061:2005 Safety of machinery - Safety-related parts of control systems - Part 1: General principles for design
- [4] Dźwiarek, M. (2006). Assessment of software and hardware safety of programmable control systems of machinery. In: C. Guedes Soares & E. Zio (ed.) *Safety and Reliability for Managing Risk*: 2325-2330. Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-42315-2.
- [5] Dźwiarek, M., Hryniewicz, O. (2012). „Practical examples of determination of periodical inspection of safety related control systems of machinery”. *Przegląd Elektrotechniczny* Vol. 88 No 5A, pp. 290-295.
- [6] IEC 60947-5-1:2004 Low-voltage switchgear and controlgear - Part 5-1: Control circuit devices and switching elements - Electromechanical control circuit devices.

*Periodical inspection of machinery protective systems...  
Kontrole okresowe systemów ochronnych do maszyn...*

---

*Publikacja przygotowana na podstawie wyników badań prowadzonych w ramach I i II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” dofinansowanego w latach 2008 - 2013 w zakresie projektów badawczych rozwojowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony pracy – Państwowy Instytut Badawczy*



*dr inż. Dźwiarek Marek, kierownik Zakładu Techniki Bezpieczeństwa w CIOP-PIB, specjalizuje się w problematyce urządzeń ochronnych stosowanych do maszyn, bezpieczeństwa funkcjonalnego systemów sterowania maszynami, oceny ryzyka, interfejsów człowiek - maszyna. Jest przewodniczącym KT 281, członkiem grupy roboczej ISO/TC 199, IEC TC 44, Grupy Roboczej Krajowego Forum Konsultacyjnego z zakresu maszyn, członkiem honorowym Stowarzyszenia „Paragraf 34”.*



*Prof. dr hab. Olgierd Hryniewicz. Systems Research Institute of the Polish Academy of Sciences, Warsaw, Director. Specializes in reliability, quality control, statistics and fuzzy sets. Author of more than 170 papers from these and related fields.*