

Zawalich Jacek

Politechnika Gdańska, Gdańsk, Polska

Determining diagnostic coverage of elements and analysis of subsystems' architectural constraints**Określanie pokrycia diagnostycznego elementów i analiza ograniczeń architektonicznych podsystemów****Keywords / Słowa kluczowe**

functional safety, diagnostics coverage, danger failure, architecture of subsystem

bezpieczeństwo funkcjonalne, pokrycie diagnostyczne, uszkodzenie niebezpieczne, architektura podsystemu

Abstract

Performing a safety related function by E/E/PE system requires proper operation of its subsystems. Its structure has to guarantee effective and fast detection of failure. The estimation of average probability of dangerous failure on demand (PFD_{avg}) requires the knowledge concerning the value of diagnostic coverage (DC) for all elements and/or subsystems. It is preferable when subsystems are of type A. In such case the failure modes of all components and their behavior in case of some faults are well defined. This is the reason why the design of safety-related systems should use the devices adapted to execution of diagnostic tests to detect majority of failures that lead to serious consequences. In the article some theoretical and practical aspects of determining diagnostic coverage are outlined.

1. Wprowadzenie

Projektowanie funkcji bezpieczeństwa zaimplementowanych za pomocą systemów E/E/PE związanych z bezpieczeństwem wiąże się nieodzownie z koniecznością dokładnej analizy podsystemów, ich architektury, konsekwencji potencjalnych uszkodzeń i innych indywidualnych właściwości.

Bardzo istotną rolę pełni znajomość pokrycia diagnostycznego testów automatycznych, gdyż ma to bezpośredni związek z dokładnym określeniem przeciętnego prawdopodobieństwa niewypełnienia funkcji bezpieczeństwa na żądanie (PFD_{avg}), w przypadku analizy przypadkowych uszkodzeń sprzętu [15].

Różnorodność urządzeń pomiarowych, logicznych (decyzyjnych) i wykonawczych oraz ich struktur stosowanych w torze obwodów bezpieczeństwa łączy się z koniecznością znajomości ograniczeń architektonicznych, ich właściwościami i rolą w całym systemie [5], [15].

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie zagadnień związanych z wyznaczaniem pokrycia

diagnostycznego elementów i analizą ograniczeń architektoniczną struktur podsystemów.

2. Diagnostyka podsystemów i systemów

Diagnostyka elementów, podsystemów i całego systemu sterowania lub zabezpieczeń ma za zadanie określenie ich stanu technicznego w celu sformułowania oceny gotowości do wykonania funkcji bezpieczeństwa. Różnorodne procesy techniczne wykonywane w wielu gałęziach przemysłu, wymagają okresowych testów i badań kontrolnych.

W przypadku systemów bezpieczeństwa jest to szczególnie ważne, gdyż występujące uszkodzenia niebezpieczne mogą mieć poważne konsekwencje w postaci awarii ze stratami ludzkimi, środowiskowymi lub materialnymi, w tym w zastosowanym sprzęcie i całej instalacji [5].

Testowanie podsystemów instalacji procesowych lub układów sterowania i zabezpieczeń jest zagadnieniem skomplikowanym, gdyż nie wszystkie testy można wykonać na urządzeniach pracujących, a także wiadomo, że nie wszystkie uszkodzenia

dadzą się wykryć za pomocą standardowych automatycznych testów diagnostycznych [6].

Testy okresowe systemów bezpieczeństwa przeprowadzane według określonego harmonogramu mają na celu przywrócenie, danemu podsystemowi lub jego elementom, stanu gwarantującego niezawodne działanie, szczególnie w sytuacjach zagrożenia.

W danym układzie lub podsystemie mogą wystąpić uszkodzenia bezpieczne i niebezpieczne. Wyeliminowanie wszystkich potencjalnych uszkodzeń niebezpiecznych jest nierealne, dlatego stosuje się struktury nadmiarowe (redundancyjne). W przeprowadzanych testach dąży się do wykrycia i następnie wyeliminowania zidentyfikowanych uszkodzeń.

Jednak, z powodu starzenia i zużycia materiałów, błędów człowieka, niesprzyjających warunków środowiskowych oraz ograniczeń w zakresie dostępnych metod pomiarowych i diagnostycznych powstają w czasie następne uszkodzenia wymagające okresowego wykrywania i eliminowania. Ma to podstawowe znaczenie w procesie zarządzania bezpieczeństwem funkcjonalnym w cyklu życia.

3. Pokrycie diagnostyczne

Przy określaniu pokrycia diagnostycznego niezbędne są dane niezawodnościowe rozpatrywanych podsystemów. Ogólnie intensywność uszkodzeń elementu dzieli się na intensywność uszkodzeń bezpiecznych λ_S i niebezpiecznych λ_D (1).

$$\lambda = \lambda_S + \lambda_D \quad (1)$$

Bardzo często, szczególnie, gdy brak jest dokładnych danych, przyjmuje się, że wartość intensywności uszkodzeń bezpiecznych jest równa wartości intensywności uszkodzeń niebezpiecznych (2).

$$\lambda_S = \lambda_D = \frac{\lambda}{2} \quad (2)$$

Dla celów dalszej analizy, intensywności uszkodzeń bezpiecznych i niebezpiecznych dzielą się na wykrywalne i niewykrywalne przez testy diagnostyczne, co w rezultacie można przedstawić wzorami (3) i (4).

$$\lambda_S = \lambda_{SD} + \lambda_{SU} \quad (3)$$

$$\lambda_D = \lambda_{DD} + \lambda_{DU} \quad (4)$$

W sumie całkowita intensywność uszkodzeń danego elementu ma postać:

$$\lambda = \lambda_{SU} + \lambda_{SD} + \lambda_{DU} + \lambda_{DD} \quad (5)$$

Udział wykrywalnych uszkodzeń niebezpiecznych przy pomocy testów diagnostycznych w odniesieniu do podsystemów bezpieczeństwa i ich elementów składowych, ocenia się wskaźnikiem pokrycia diagnostycznego DC . Norma PN-EN 61508-4 [15] podaje, iż jest to względne zmniejszenie prawdopodobieństwa uszkodzeń niebezpiecznych, wynikających z przeprowadzanych testów diagnostycznych. Określone jest ono również jako iloraz intensywności wykrywalnych uszkodzeń niebezpiecznych do całkowitej intensywności niebezpiecznych uszkodzeń elementu (6).

$$DC = \frac{\lambda_{DD}}{\lambda_D} \quad (6)$$

gdzie DC jest wskaźnikiem pokrycia diagnostycznego, λ_{DD} intensywnością wykrywalnych uszkodzeń niebezpiecznych, a λ_D sumaryczną intensywnością występowania wszystkich uszkodzeń niebezpiecznych:

Pokrycie diagnostyczne dotyczy zwykle elementów lub podsystemów związanych z wypełnieniem funkcji bezpieczeństwa. Ma to bezpośredni związek z czujnikami, elementami wykonawczymi i logicznymi układami sterującymi (decyzyjnymi). Głównym celem jest takie przygotowanie elementu do pracy, aby prawdopodobieństwo uszkodzeń było możliwie jak najmniejsze.

Testy diagnostyczne wykonuje się w określonych odstępach czasu. Wpływa to bezpośrednio na prawdopodobieństwo uszkodzeń danego elementu. Testy można wykonywać w czasie działania instalacji procesowej lub po jej zatrzymaniu, lecz wówczas należy minimalizować czas trwania testów, aby ograniczyć ich wpływ na pracę i gotowość do działania całego systemu bezpieczeństwa.

4. Ocena pokrycia diagnostycznego

Norma PN-EN 61508 [15] prezentuje metody obliczania pokrycia diagnostycznego DC w odniesieniu do systemów E/E/PE wiązanych z bezpieczeństwem. Z przedstawionych w normie tabel wynikają ograniczenia, które należy uwzględnić dla danej instalacji procesowej. Projektowanie systemów E/E/PE wymaga znajomości struktury i właściwości elementów całego systemu bezpieczeństwa. Norma podaje praktyczny przykład w sytuacji, gdy nie ma

możliwości wykrycia uszkodzenia niebezpiecznego oraz przestrzega przed ich wpływem na poszczególne elementy całego systemu bezpieczeństwa [15].

W sposób szczegółowy określone są wytyczne dookreślenia pokrycia diagnostycznego. Dla prostych układów można to wykonać drogą analityczną. W sytuacji skomplikowanych systemów i tam, gdzie nie jest możliwa szczegółowa analiza należy przyjmować występowanie uszkodzeń niebezpiecznych i bezpiecznych w 50%.

Wewnętrzna struktura podukładów realizujących daną funkcję bezpieczeństwa powinna być wykonana w taki sposób, aby ewentualne uszkodzenia nie powodowały sytuacji niebezpiecznych. Zastosowane rozwiązanie powinno również gwarantować wykonywanie automatycznych testów diagnostycznych w czasie normalnej eksploatacji oraz pozwalać na eliminacje wszystkich uszkodzeń w podczas przeglądów i remontów.

Z przyczyn technologicznych, w warunkach przemysłowych, podukłady torów realizujących funkcje bezpieczeństwa nie zawsze są przystosowane do przeprowadzania testów diagnostycznych. Możliwe są wówczas tylko ograniczone oszacowania występowania uszkodzeń bezpiecznych i uszkodzeń niebezpiecznych.

Dlatego też wśród podsystemów rozróżnia się podsystemy typu A i B. W podsystemach typu A muszą być dokładnie określone mechanizmy uszkodzeń elementów składowych oraz zachowania się podsystemów w sytuacji ich wystąpienia. Jeżeli co najmniej w jednym elemencie nie można określić rodzaju uszkodzeń to taki podsystem zalicza się do podsystemów typu B. Dlatego nie może być tu również całkowicie określone zachowanie się podsystemu w możliwych sytuacjach zaistnienia uszkodzeń elementów. W szczególności nie można w sposób wiarygodny oszacować intensywności niebezpiecznych uszkodzeń wykrywalnych oraz niewykrywalnych. Dane do analiz bardzo często są pozyskiwane na podstawie oszacowań analitycznych lub doświadczeń eksploatacyjnych.

Bardzo ważne jest również oszacowanie udziału uszkodzeń bezpiecznych, gdyż ten parametr bezpośrednio wpływa na poziom nienaruszalności bezpieczeństwa (SIL). W zależności od zaszeregowania danych elementów do typu A lub B, można im przypisać podsystemowi odpowiedni poziom nienaruszalności bezpieczeństwa SIL według Tabeli 1 i 2 [15].

Tabela 1. Poziom SIL jaki można przypisać podsystemom z elementami typu A

SFF - frakcja uszkodzeń bezpiecznych	Tolerowane uszkodzenie sprzętu N*		
< 60%	SIL1	SIL2	SIL3
60% - 90%	SIL2	SIL3	SIL4
90% -99%	SIL3	SIL4	SIL4
≥ 99%	SIL3	SIL4	SIL4

*N oznacza tolerowaną liczbę uszkodzeń, tzn. że N+1 uszkodzeń powoduje utratę funkcji bezpieczeństwa.

Tabela 2. Poziom SIL jaki można przypisać podsystemom typu B

SFF - frakcja uszkodzeń bezpiecznych	Tolerowane uszkodzenie sprzętu N*		
< 60%	-	SIL1	SIL2
60% - 90%	SIL1	SIL2	SIL3
90% -99%	SIL2	SIL3	SIL4
≥ 99%	SIL3	SIL4	SIL4

*N oznacza tolerowaną liczbę uszkodzeń, tzn. że N+1 uszkodzeń powoduje utratę funkcji bezpieczeństwa.

Sposób oceny pokrycia diagnostycznego DC najlepiej przedstawić na podstawie konkretnych danych probabilistycznych. Przykładowo znając sumaryczną intensywność uszkodzeń $\lambda_{DD} = 1.3 \cdot 10^{-6}$ [h⁻¹] oraz intensywność uszkodzeń niewykrywalnych niebezpiecznych $\lambda_{DU} = 0.3 \cdot 10^{-6}$ [h⁻¹], czyli sumaryczną intensywność uszkodzeń $\lambda_{DD} + \lambda_{DU} = 1.6 \cdot 10^{-6}$ [h⁻¹] można wyliczyć pokrycie diagnostyczne uszkodzeń niebezpiecznych czyli wskaźnik DC

$$DC = \frac{\lambda_{DD}}{\lambda_{DD} + \lambda_{DU}} = \frac{1.3 \cdot 10^{-6}}{1.6 \cdot 10^{-6}} \approx 81\% \quad (7)$$

Frację uszkodzeń bezpiecznych definiuje się jako

$$SFF = \frac{\lambda_s + \lambda_{DD}}{\lambda_s + \lambda_D} \quad (8)$$

którą w Tabelach 1 i 2 wyrażono w procentach [%].

Pomiędzy współczynnikiem pokrycia diagnostycznego DC, a wskaźnikiem prezentującym odsetek uszkodzeń bezpiecznych SFF podaje się niekiedy w literaturze zależność:

$$DC \cong (2 \cdot SFF - 100)\% \quad (9)$$

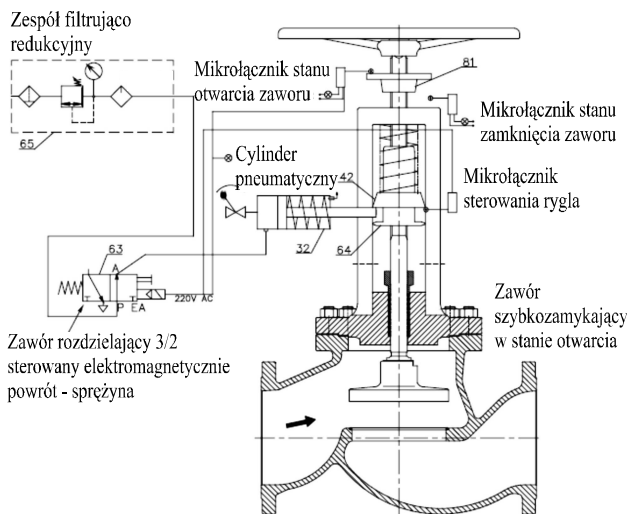
gdzie: DC jest pokryciem diagnostycznym w %, a SFF odsetkiem uszkodzeń bezpiecznych.

Firmy produkujące elementy systemów bezpieczeństwa często podają zamiast parametru DC parametr SFF . Wówczas na podstawie (9) można obliczyć wartość pokrycia diagnostycznego DC . Na przykład, mając wartość $SFF = 80\%$ pokrycie diagnostyczne wyniesie $DC = 60\%$. Wzór (9) należy jednak stosować ostrożnie, ponieważ stosuje się go przy założeniu określonym wzorem (2).

5. Problematyka testowania urządzeń

5.1. Zawory

Jednym z elementów wykonawczych są różnego rodzaju zawory regulacyjne, odcinające oraz szybkozamykające (Rysunek 1). Te ostatnie służą do nagłego zamknięcia dopływu przepływającego medium. Najczęściej są stosowane do zamknięcia dopływu pary roboczej do turbiny w elektrowniach konwencjonalnych w przypadku nagłego „zrzutu mocy”.

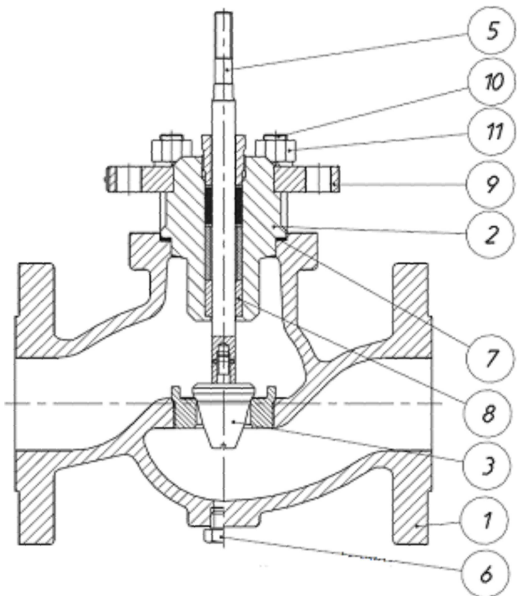


Rysunek 1. Schemat zaworu szybkozamykającego typu NR QT-2/17 [16]

Jest to zabezpieczenie przed nadmierną zwyżką obrotów całego turbozespołu, gdyż w przeciwnym razie mogłoby dojść do poważnych uszkodzeń mechanicznych [2], [3], [4]. Niezadziałanie takich zaworów występuje również wtedy, gdy obniży się ciśnienie sprężonego powietrza zasilającego, lub gdy napięcie zasilające element napędowy będzie niższe od nominalnego [7], [8], [13].

Firmy produkujące zawory przeprowadzają różnorodne testy w tym również testy szczelności, co znacznie zwiększa niezawodność zaworu podczas

eksploatacji. Natomiast, gdy pojawią się symptomy o uszkodzeniu należy jak najszybciej przeprowadzić oględziny i testy diagnostyczne lub wymienić na nowy element. Podobne problemy z prowadzeniem testów diagnostycznych występują przy zwykłych zaworach regulacyjnych (Rysunek 2)



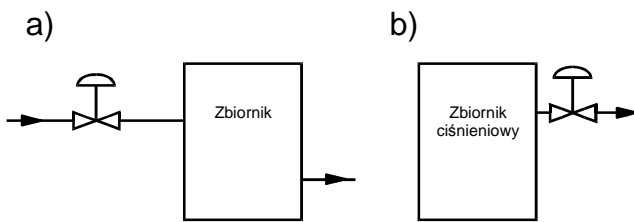
Rysunek 2. Schemat zaworu regulacyjnego; 1- korpus, 2- dławica, 3- grzyb, 5- trzpień, 6- korek, 7- uszczelki korpusu, 8- tuleja prowadząca, 9- płyta dociskowa, 10- śruba, 11- nakrętka [17]

Każdy z wyszczególnionych elementów zaworu może być przyczyną wystąpienia uszkodzeń. Częstym niedomaganiem takiego zaworu jest brak szczelności na dławicach, chociaż jest to uszkodzenie bezpieczne i nie powoduje groźnych awarii. Ale najważniejszą kwestią w przypadku zaworu regulacyjnego będzie konieczność okresowego badania grzybka i gniazda zaworu, gdyż są to elementy najbardziej narażone na uszkodzenia. Jest też bardzo istotne ciągłe kontrolowanie stanu zasilania zastosowanego napędu, aby w maksymalnym stopniu zmniejszyć możliwości utraty funkcjonalności zaworu.

Zawory mogą pełnić różne funkcję w systemie sterowania i zabezpieczeń. Wykonanie pełnego testu może być trudne do zrealizowania ze względu na trwający proces technologiczny. Istotne jest też to, czy ewentualne ich uszkodzenie będzie uszkodzeniem niebezpiecznym, czy może tylko uszkodzeniem bezpiecznym uniemożliwiającym jedynie dalszą normalną pracę instalacji.

Przykładowo dla sytuacji, gdy zawór jest zamontowany na wlocie do zbiornika (Rysunek 3a), to jego nie zamknięcie można kwalifikować jako uszkodzenie niebezpieczne. Natomiast, gdy zawór

pełni rolę zaworu bezpieczeństwa w zbiorniku ciśnieniowym, to występuje sytuacja odwrotna – mianowicie nie otwarcie tego zaworu jest uszkodzeniem niebezpiecznym.

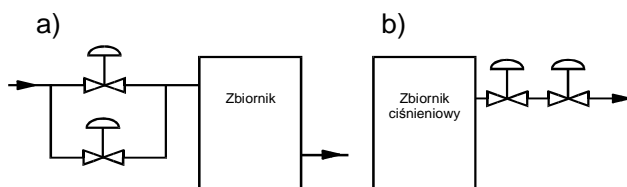


Rysunek 3. Przykład wpływu usytuowania zaworu na klasyfikację potencjalnych uszkodzeń

W rezultacie analiza sprawności poszczególnych elementów systemu zabezpieczeń musi uwzględniać również istotę działania całej instalacji technologicznej. Każdy z podkładów musi być rozpatrywany jako składowy element systemu realizujący określoną funkcję bezpieczeństwa, związaną z konkretnym procesem lub obiektem dynamicznym.

W przypadku, gdy zawór jest elementem, którego nie można zdublować, to wówczas możliwe są tylko testy niepełne, np. polegające na wykonywaniu niewielkich oscylacyjnych ruchów wrzeczona zaworu, w celu sprawdzenia jego funkcjonalności. Możliwe są również inne testy pośrednie, jak diagnostyka wibroakustyczna lub ultradźwiękowa [1], [10]. Porównanie kolejnych wyników badań testowych umożliwia określenie występujących trendów związanych z postępującą korozją, kawitacją, lub innymi uszkodzeniami bezpośrednio wpływającymi na niezawodność.

Lepszym, lecz inwestycyjnie droższym rozwiązaniem jest redundancja zaworów w celu umożliwienia prowadzenia testów pełnych na zaworach tych, które w danym okresie pełnią rolę zaworów rezerwowych (Rysunek 4).



Rysunek 4. Przykład zastosowania struktur redundancyjnych w przypadkach: a) awaryjnego zamykania, b) awaryjnego otwierania zaworów

Struktura redundancyjna pozwala na częstsze przeprowadzanie testów diagnostycznych, co sprzyja obniżeniu prawdopodobieństwa niewypełnienia zadanej funkcji bezpieczeństwa. W strukturze

z redundancją można również dopuścić naprzemienną pracę zastosowanych zaworów.

Ważnym problemem staje się również znajomość dynamiki samego procesu, gdyż na podstawie jego analizy i określonych właściwości decyduje się o tym, czy można prowadzić testy pełne i jak długo te testy można wykonywać. Harmonogram testów powinien uwzględniać koszty związane z obniżeniem potencjalnego ryzyka wystąpienia uszkodzeń. Test powinien być tak zaplanowany, aby w możliwie jak najkrótszym czasie przetestować jak najwięcej elementów systemu bezpieczeństwa w celu poprawy ich niezawodności.

5.2. Styczniki

Stycznik w układzie automatyki zabezpieczeniowej może pracować na zwieranie lub na rozwieranie styków głównych. Ważne jest, aby sygnał wywołujący wykonanie zadanej funkcji bezpieczeństwa spowodował właściwe zadziałanie stycznika, jako elementu wykonawczego [9].

Objawy złej pracy stycznika są bardzo różne. W przypadku aktywnego sygnału zwierania styków najczęściej występują ciągłe drgania spowodowane uszkodzeniem jego cewki lub obecnością obcego elementu w obwodzie magnetycznym. Mogą też występować uszkodzenia styków pomocniczych, które uniemożliwiają prawidłową realizację podtrzymania zwierania styków głównych i w rezultacie mogą prowadzić do niewypełnienia zadanej funkcji bezpieczeństwa [12], [13].

Groźnym dla systemu bezpieczeństwa będzie przepalenie się cewki głównej stycznika. Testowanie samego stycznika nie jest w stanie wykryć takiej usterki, gdyż jest to związane z pozostałymi elementami systemu zabezpieczeń. Czyli poza testowaniem samego stycznika należy również przeprowadzać kontrolę źródeł zasilających. W takim przypadku również za niskie napięcie może być przyczyną niezadziałania stycznika, co będzie się kwalifikować jako uszkodzenie niebezpieczne.

Istotnymi parametrami świadczącymi o prawidłowej pracy stycznika są wstępujące impedancje cewek oraz rezystancje styków głównych. Znajomość dopuszczalnych tolerancji tych parametrów, zwykle podawanych przez producentów, oraz porównanie ich z wynikami testów świadczą o zużyciu elementu wykonawczego.

5.3. Pompy odśrodkowe

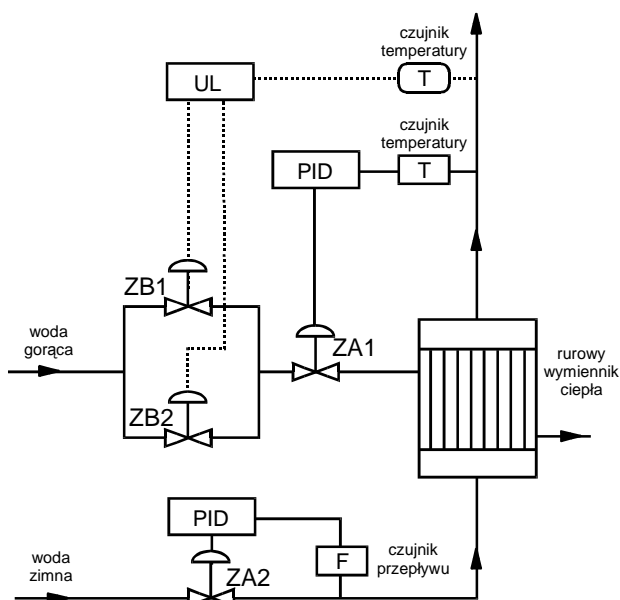
Pompa odśrodkowa, jak każda inna pompa jest połączona z elementem napędowym, zwykle silnikiem asynchronicznym. Przede wszystkim należy mieć na uwadze niezawodność elementu napędowego, gdyż od niego zależeć będzie

wykonanie zadanej funkcji bezpieczeństwa [9], [15]. W tym przypadku uszkodzeniem niebezpiecznym będzie nie tylko uszkodzenie samej pompy, ale również awaria silnika napędowego.

Bardzo często uszkodzenie pompy jest sygnalizowane poprzez silne drgania, które mogą być spowodowane uszkodzeniem łożysk, uszkodzeniem wirnika silnika napędowego lub wirnika pompy. Pompa odśrodkowa będzie pracować poprawnie, gdy przewód ssący zostanie całkowicie wypełniony wodą. Wobec w przypadku tego typu elementu wykonawczego jeszcze jednym uszkodzeniem niebezpiecznym jest brak tzw. „zalania” pompy. Występuje to wtedy, gdy poziom wody w rurze ssącej jest niższy od położenia wirnika pompy.

5.4. Układy złożone

Przykład systemu bezpieczeństwa dla układu złożonego można również przedstawić na bazie fizycznego modelu rurowego wymiennika ciepła, w którym w zależności od konfiguracji zaworów i aparatów składowych uzyskuje się procesy wymiany ciepła o różnych właściwościach. Przykładowy schemat układu regulacji temperatury wody wypływającej z wymiennika przedstawia Rysunek 5.



Rysunek 5. Schemat regulacji temperatury w rurowym wymienniku ciepła wraz z systemem bezpieczeństwa (linia przerywana – obwód systemu bezpieczeństwa)

Na rysunku pokazano linią przerywaną elementy systemu zabezpieczeń, które będą realizowały funkcje bezpieczeństwa. W tym przypadku system

bezpieczeństwa ma zamknąć dopływ wody gorącej po przekroczeniu dopuszczalnej temperatury wody na wylocie z wymiennika. Testowanie może odbywać się podczas normalnej eksploatacji, gdyż zawory ZB1 i ZB2 mogą kontrolować proces naprzemian. W okresie, gdy testowany jest zawór ZB1 – zawór ZB2 jest w stanie gotowości i odpowiednio odwrotnie. W ten sposób zwiększa się możliwość prowadzenia testów automatycznych i eliminuje się ewentualne błędy człowieka.

6. Podsumowanie

Przypadkowe uszkodzenia sprzętu mają wpływ na ocenę przeciętnego prawdopodobieństwa niewypełnienia funkcji bezpieczeństwa na przywołanie (PFD_{avg}), w zależności od architektury sprzętowej. Projektant powinien określić niezbędne odstępy testów diagnostycznych, aparatów i podukładów systemu bezpieczeństwa. Należy tu brać pod uwagę zarówno testy diagnostyczne w celu wykrycia defektów niebezpiecznych, jak również testy sprawdzające, które są w stanie wykryć defekty niebezpieczne niewykrywalne przez rutynowe testy diagnostyczne.

Wybrana metoda projektowania powinna jasno przedstawiać kolejność czynności podczas budowy i montażu oraz dokładnie określać wykonywane funkcje, połączenia z interfejsami, sposoby dopasowania i współbieżności występujących sygnałów.

Określenie ilości możliwych defektów bez utraty funkcji bezpieczeństwa stanowi istotny element przy wyborze rodzaju i architektury sprzętu. Systemy E/E/PE lub SIS związane z bezpieczeństwem realizują funkcje bezpieczeństwa w sytuacjach konieczności redukcji ryzyka związanego z eksploatacją danej instalacji procesowej. Istotne znaczenie ma analiza struktury sprzętu zastosowanego do realizacji funkcji bezpieczeństwa, ocena intensywności uszkodzeń krytycznych elementów oraz weryfikacja wynikowego poziomu nienaruszalności bezpieczeństwa.

Podziękowanie

Autor niniejszego artykułu dziękuje Ministerstwu Nauki i Szkolnictwa Wyższego za wsparcie badań oraz Centralnemu Laboratorium Ochrony Pracy – Państwowemu Instytutowi Badawczemu za współpracę w przygotowaniu i koordynowaniu projektu badawczego 5R.02 realizowanego w latach 2008-10 dotyczącego zarządzania bezpieczeństwem funkcjonalnym w obiektach podwyższonego ryzyka.

Literatura

- [1] Batko, W., Dąbrowski, Z., Engel, Z., Kiciński, J. & Weyna, S. (2006). *Nowoczesne metody badania procesów wibroakustycznych*. Radom: Wyd. Instytutu Technologii Eksploatacji – BIP.
- [2] Ciok, Z., Maksymiuk, Z., Pochanke, Z. & Zdanowicz, L. (1992). *Badanie urządzeń energetycznych*. Warszawa: WNT.
- [3] Jasicki, Z. (1987). *Elektromechaniczne stany przejściowe w systemach energetycznych*. T.1.,T.2. Warszawa: PWN.
- [4] Kiciński, J. (2005). *Modelowanie i diagnostyka oddziaływań mechanicznych, aerodynamicznych i magnetycznych w turbozespołach energetycznych*. Gdańsk: IMP-PAN.
- [5] Kosmowki, K. (2004). Koncepcja bezpieczeństwa funkcjonalnego w przemyśle. *Materiały konferencji Naukowo-Technicznej „Zarządzanie bezpieczeństwem funkcjonalnym”*, Jurata 16-18.09.2004.
- [6] Kościelny, J.M. (2001). *Diagnostyka zautomatyzowanych procesów przemysłowych*. Warszawa: EXIT.
- [7] Laudyn, D., Pawlik, M. & Strzelczyk, F. (2000). *Elektrownie*. Warszawa: WNT 2000.
- [8] Markiewicz, H. (2002). *Bezpieczeństwo w elektroenergetyce*. Warszawa: WNT
- [9] Markiewicz, H. (2001). *Urządzenia elektroenergetyczne*. Warszawa: WNT.
- [10] Niestępski, St., Parol, M., Pasternakiewicz, J. & Wiśniewski, T. (2005). *Instalacje elektryczne, Budowa, projektowanie i eksploatacja*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Pol. Warszawskiej.
- [11] Radkowski, S. (2002). *Wibroakustyczna diagnostyka uszkodzeń niskoenergetycznych*. Warszawa – Radom: Wyd. Instytutu Technologii Eksploatacji.
- [12] Wiatr, J. & Orzechowski, M. (2008). *Poradnik projektanta elektryka*. Warszawa Dom Wydawniczy MEDIUM.
- [13] Winkler, W. & Wiszniewski, A. (2004). *Automatyka zabezpieczeniowa w systemach elektroenergetycznych*. Warszawa: WNT.
- [14] Wiśniewski, W. (1991). *Diagnostyka techniczna wytwórczych urządzeń energetycznych w elektrowniach*. Warszawa: PWN.
- [15] PN-EN 61508 (2004). *Bezpieczeństwo funkcjonalne elektrycznych/ elektronicznych/ programowalnych elektronicznych systemów związanych z bezpieczeństwem*. Części 1-7. Polski Komitet Normalizacyjny.
- [16] <http://www.wakmet.pl/dtr/szybkozamykający.pdf> (2011). Dokumentacja techniczno-ruchowa zaworu szybkozamykającego.
- [17] http://www.polna.com.pl/gfx/pliki_pl/zawor_regulacyjny_typ_z2_polna.pdf (2011). Dokumentacja techniczno-ruchowa zaworu regulacyjnego.

Zawalich Jacek

Określenie pokrycia diagnostycznego elementów i analiza ograniczeń architektonicznych
Określanie pokrycia diagnostycznego elementów i analiza ograniczeń architektonicznych podsystemów
