

AKTUALNE PROBLEMY ZARZĄDZANIA NIEZAWODNOŚCIĄ I BEZPIECZEŃSTWEM LINII PRODUKCYJNEJ

Jan PIESIK¹, Kazimierz T. KOSMOWSKI²

1. Michelin Polska S.A., Olsztyn
tel.: +48 89 531 46 47 e-mail: jan.piesik@michelin.com
2. Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki
tel.: +48 58 347 14 35, e-mail: kazimierz.kosmowski@ely.pg.gda.pl

Streszczenie: Nowoczesne linie produkcyjne projektowane zgodnie z wymaganiami najnowszych norm oraz optymalizowane pod względem ekonomicznym, tak jak i starsze linie produkcyjne, zmagają się z problemami zapewnienia odpowiedniej niezawodności w funkcji kosztów przy jednoczesnym zapewnieniu wymaganego poziomu bezpieczeństwa. Fabryki wyposażone w skomputeryzowane procesy i rozbudowane narzędzia diagnostyczne często nie wykorzystują wielu informacji, które są zbierane z poziomu sprzętowego. W celu zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa niezbędna jest okresowa kontrola elementów bezpieczeństwa. Wyznaczenie optymalnej częstotliwości testowania przysparza trudności wielu przedsiębiorstwom. Wyznaczanie poziomu zapewnienia bezpieczeństwa po modyfikacjach urządzeń i ich dostosowanie do zmienionych wymagań stawia przed działami technicznymi nowe zadania. W referacie przedstawiono aktualne problemy zarządzania niezawodnością i bezpieczeństwem linii produkcyjnej pokazane na przykładzie linii produkcji półfabrykatów.

Słowa kluczowe: czasy testowania, KPI, PL.

1. PRZEGLĄD METOD ZARZĄDZANIA NIEZAWODNOŚCIĄ

1.1. Wprowadzenie

Rosnąca konkurencja sprawia, iż właściciele przedsiębiorstw coraz dokładniej analizują koszty wytwarzania, wdrażając kolejne narzędzia do ich redukcji [1], [2]. Nowoczesne systemy wraz z ciągłym wzrostem dostępności przy spadających cenach znacząco wspomagają proces optymalizacji kosztów. Z drugiej strony, obserwujemy powstawanie nowych, coraz bardziej restrykcyjnych wymagań z zakresu bezpieczeństwa [3], [4], ochrony środowiska i ergonomii, co wiąże się z tym, iż obniżanie kosztów staje się coraz trudniejszym zadaniem [5].

Operator urządzeń został wyposażony w wiele narzędzi do nadzorowania przebiegu i niezawodności procesu oraz analizy jego jakości. Wielość tych informacji przyczynia się do powstawania innego rodzaju zdarzeń i błędów do tej pory nieobserwowanych [6]. W literaturze do tej pory brak jest opisów, zintegrowanych narzędzi, które eliminowałyby te ryzyka w sposób spójny i wykorzystujący wszystkie dostępne informacje.

1.2. Generacje metod zarządzania utrzymaniem ruchu

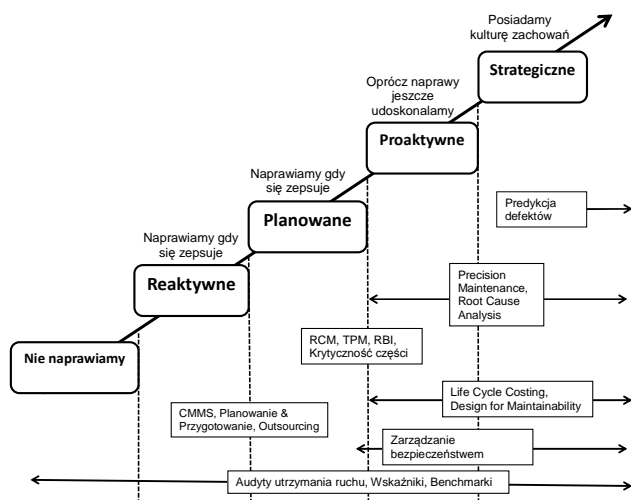
Do lat 40 dwudziestego wieku w podejściu do defektów bazowano na reaktywnym podejściu, czyli zasadzie „zepsuło się, więc naprawiamy”, podejście to zaczęło się zmieniać w czasie II wojny światowej, gdy niezawodność coraz bardziej skomplikowanych urządzeń technicznych często decydowała o życiu ludzi. Płynnie zaczęto przechodzić do planowanych napraw inspekcji i wymiany części (rys.1). Jednak i to rozwiązanie posiadało pewne wady. Między innymi niosło ze sobą wysoki koszt utrzymania, gdyż niejednokrotnie wymieniano część, która znajdowała się jeszcze w bardzo dobrym stanie technicznym.

Szczególnie w przemyśle lotniczym, już w latach 60'tych, szczegółowo analizowano koszty utrzymania floty samolotów. Wraz z pojawieniem się Boeinga 747, z zaawansowaną techniką, powstała metoda Reliability Centered Maintenance (RCM) [7], [8]. Równoległe do niej stosowana jest metoda kompleksowego podejścia do zagadnień utrzymania ruchu o nazwie Total Productive Maintenance (TPM), rozwijana od lat pięćdziesiątych przez firmę Toyota i z sukcesem kopiowana w wielu sektorach przemysłu. Wraz z wdrażaniem wymienionych dwóch metod zaczęto uwzględniać aspekty zarządzania bezpieczeństwem.

Wraz ze wzrostem rynku pomiarów pojawiła się kolejna metoda bazująca w znacznej mierze na predykcyjnym podejściu analizującym stan maszyn (ang. Condition Based Maintenance). Od lat dziewięćdziesiątych coraz większym uznaniem cieszą się techniki pozwalające na zarządzanie niezawodnością poprzez analizę kosztów i opłacalności działań - Life Cycle Cost (LCC) [9] oraz Design for maintainability [10].

W wyniku dynamicznego rozwoju elektroniki możliwe stało się coraz bardziej dokładne analizowanie parametrów maszyn i urządzeń. Z drugiej strony, zwiększający się udział elektroniki w maszynach spowodował, iż oprócz tradycyjnego „wannowego” rozkładu uszkodzeń, zaczęto występować kilka nowych. Obecnie standardem w przemyśle są pomiary wibroakustyczne, analizy olejowe, czy pomiary termograficzne maszyn, szaf elektrycznych i podstacji. Coraz szerzej rozpropagowane stają się również różnego rodzaju pomiary w czasie rzeczywistym (ang.: on-line). Wraz z postępowaniem w technice pomiarowej, rozszerzył on zakres o badanie wielu wielkości fizycznych, a przy tym koszt pojedynczego elementu spadł kilku, kilkudziesięciokrotnie. Wszystko to spowodowało,

że nowoczesne linie produkcyjne są często wyposażone w blisko pięćset elementów zbierających na bieżąco dane i monitorujące stan i przebieg procesu produkcyjnego. Daje to podstawy do analiz statystycznych w celu predykcji zdarzeń oraz wyszukiwania przyczyn ich powstania.



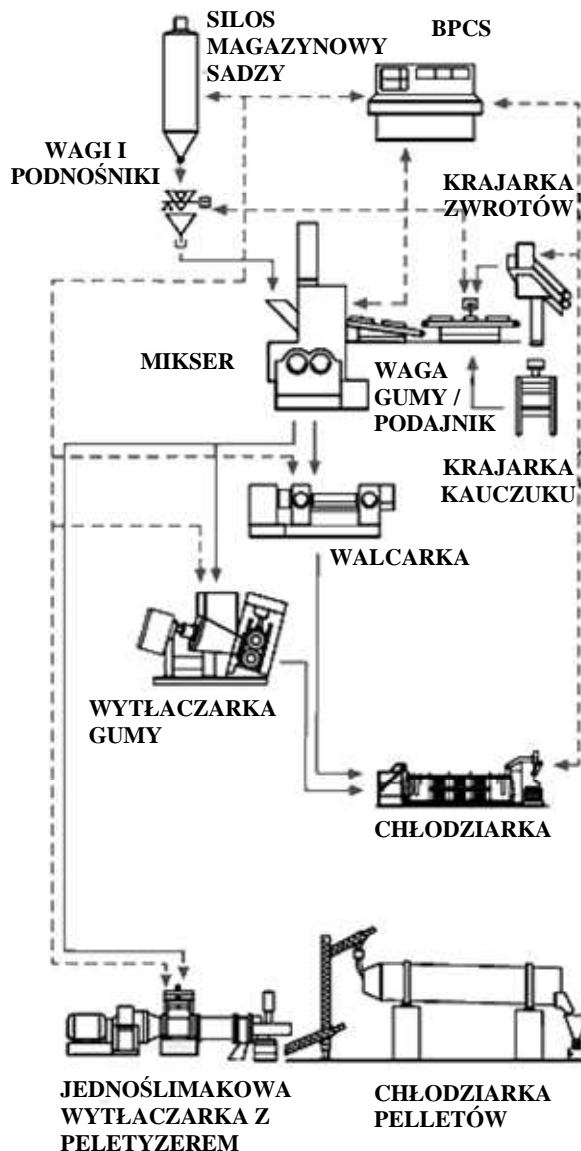
Rys. 1. Generacje metod zarządzania utrzymaniem ruchu na podstawie [11]

2. OPIS LINII PRODUKCYJNEJ I FUNKCJI BEZPIECZEŃSTWA

2.1 Opis procesu

Dla zobrazowania aktualnych problemów zostały wybrane dwie nowoczesne linie produkcyjne, produkujące mieszanki gumowe będące półfabrykatem do produkcji opon. Zarys podobnej linii został przedstawiony na rysunku 2. Linie są bardzo zbliżone budową i właściwościami funkcjonalnymi. Ich sterowanie jest oparte na nowoczesnej architekturze rozproszonej urządzeń automatyki. Systemy sterowania (ang. Basic Proces Control System - BPCS) korzystają z kilku tysięcy punktów wejść/wyjść. Urządzenia są wyposażone w rozbudowaną diagnostykę oraz złożone systemy pomiarowe parametrów procesu. Operatorzy pracują na kilkunastu panelach HMI. Proces wytwarzania jest w pełni zautomatyzowany.

Proces produkcji mieszanek gumowych w dużym uproszczeniu polega na dostarczeniu do miksera kilkudziesięciu różnych, odważonych surowców takich jak kauczuk naturalny i / lub syntetyczny, sadza, środki przeciwstarzeniowe, oleje, etc. W mikserze wszystkie te surowce są mieszane dyspersyjnie do osiągnięcia temperatur rzędu 140-160 °C. Po tym etapie mieszanka jest wyrzucana grawitacyjnie na walcarkę lub wytłaczarkę (w zależności od typu mieszanki), gdzie następuje dalszy proces uplastyczniania mieszanki oraz dodaje się środek wulkanizacyjny. Kolejny etap produkcji mieszanki to jej schłodzenie oraz zmagazynowanie na paletach, co kończy etap produkcji mieszanki gumowej.



Rys. 2. Linia produkcji półproduktów gumowych [12]

2.2 Wskaźniki niezawodności linii

W Utrzymaniu Ruchu (UR) do zarządzania wynikami stosuje się szereg wskaźników będących bezpośrednio wskaźnikami niezawodności linii lub też w sposób pośredni pokazujących efektywność zarządzania niezawodnością i kosztami. Wskaźniki bezpośrednie to:

- średni czas naprawy (ang.: Mean Time To Repair - MTTR), w przypadku elementów nienaprawialnych średni czas do uszkodzenia (Mean Time To Failure – MTTF),
- średni czas pomiędzy naprawami (ang.: Mean Time Between Failure - MTBF),
- ilość zdarzeń awaryjnych na tonę produktu,
- ilość zdarzeń awaryjnych w jednostce czasu.

Wskaźniki pośrednie:

- koszt całkowity UR na tonę produkcji,
- procentowy udział prac planowanych do wszystkich prac UR,
- procentowy udział defektów do wszystkich prac UR,
- procentowy udział realizacji prac prewencyjnych w planowanym czasie,
- procent rotowania (obrotu) części w magazynie części zamiennych,
- Wartość finansowa zapasu części w magazynie.

2.3 Zagrożenia, funkcje bezpieczeństwa oraz optymalizacja czasów testowania urządzeń bezpieczeństwa

Na analizowanej linii produkcyjnej występują ryzyka zidentyfikowane i oszacowane podczas oceny ryzyka maszyn. Poziom zapewnienia bezpieczeństwa (ang.: Performance Level – PL) kształtuje się w zależności od elementu linii w zakresie od $PL_r = a$ do $PL_r = c$.

Na linii produkcyjnej zaimplementowanych jest kilkadziesiąt funkcji bezpieczeństwa. Wielokrotnie stosowaną funkcją bezpieczeństwa jest system blokad dostępu do elementów rotujących (walcarka, krajarki, wyłaczarka) realizowany poprzez wyłączniki ryglujące oraz kurtyny bezpieczeństwa (chłodziarka) zawierające zintegrowaną funkcję zawieszenia działania zabezpieczeń - mutingu. Kolejną zastosowaną funkcją bezpieczeństwa jest funkcja zatrzymania awaryjnego, realizowana poprzez przyciski zatrzymania awaryjnego (na całej linii) oraz wyłączniki linkowe zatrzymania awaryjnego. Zastosowano również funkcje bezpieczeństwa zabezpieczającą przed powstaniem pożaru (mikser).

Coraz częściej analizowanym elementem zarządzania bezpieczeństwem linii są czasokresy testowania urządzeń bezpieczeństwa. Przy zwiększających się wymaganiach produktywności ich optymalizacja odgrywa coraz większą rolę. Nie dotyczy to urządzeń, które są objęte specjalnymi wymaganiami prawnymi dotyczącymi częstości kontroli. Metodyka wyliczenia optymalnych czasów testowania nie jest powszechnie znana oraz szerzej prezentowana w polskiej literaturze. Wymagane są również wysokie kompetencje zespołu w zakresie znajomości budowy systemów zabezpieczeń maszyn oraz norm. Ostatnią przeszkodą jest czasochłonność samego procesu wykonania analiz i obliczeń.

Dla przykładu został wybrany układ bezpieczeństwa z urządzeniem zatrzymania awaryjnego aktywowane linką w wykonaniu kategorii b, z wykładniczym rozkładem niezawodności, bez detekcji uszkodzeń. Na podstawie literatury [13] przyjęto następujące równanie w celu wyliczenia optymalnego czasu testowania T_0 :

$$T_0 = \frac{2(1 - A_r)}{\lambda} \quad (3)$$

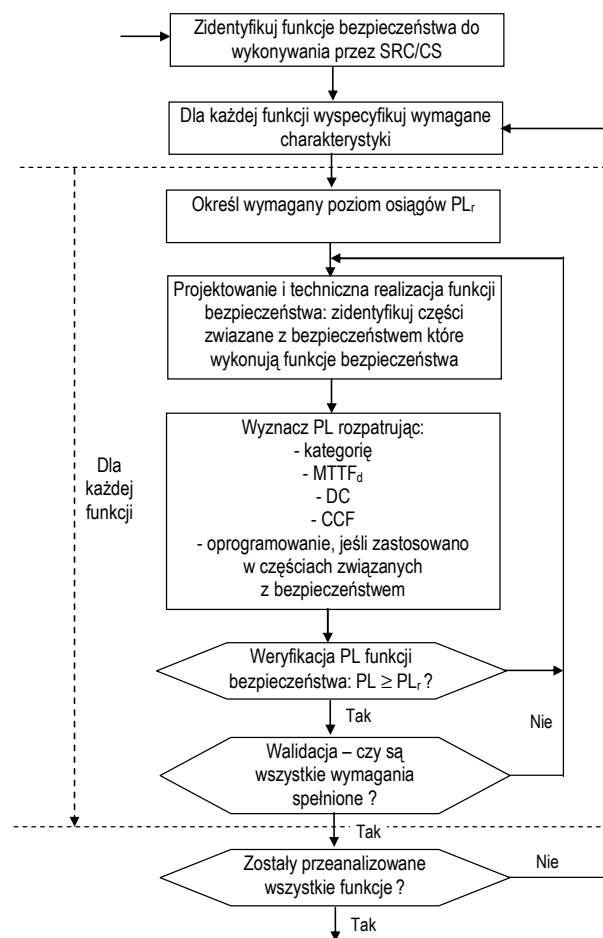
gdzie: A_r - wymagana dostępność układu na rok, λ - przyjęto jako wymagane prawdopodobieństwo uszkodzeń na godzinę (PFH_D).

Przyjęto wymagany z analizy ryzyka $PL_r = b$ oraz to, iż układ bezpieczeństwa został wykonany w $PL = b$. Uzyskano optymalny czas testowania o wartości 108 dni. Przed wykonaniem obliczeń czas ten był ustawiony na sztywno, na 30 dni. Zysk z optymalizacji czasu to 12 godzin rocznie dla jednej maszyny.

2.4 Przykład projektowania funkcji bezpieczeństwa z uwzględnieniem pokrycia diagnostycznego i czasów testowania

W eksploatacji maszyn i urządzeń poziom zapewnienia bezpieczeństwa pozostaje stały w przypadku braku modyfikacji oraz właściwej polityce podtrzymania wymaganego poziomu zapewnienia bezpieczeństwa zgodnie z [14]. Jednak techniczną ewolucją maszyn jest ich modyfikacja ze względu na zmieniające się potrzeby

użytkowania, zwiększające się wymagania odnośnie jakości, brak dostępnych części zamiennych, etc. Proces iteracyjnego projektowania części związanych z bezpieczeństwem systemów sterowania jest stosowany głównie w etapie projektowania nowych urządzeń (rys. 3).



Rys. 3. Iteracyjny proces projektowania części związanych z bezpieczeństwem systemów sterowania (SRP/CS) [3]

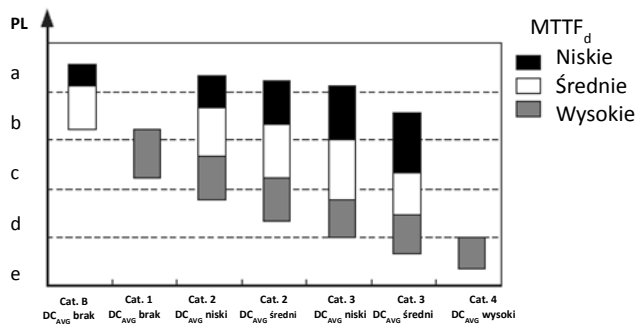
Elementem powyższego procesu jest uproszczona metoda szacowania PL, przedstawiona na rysunku 4 [3]. Zagrożenia, jakie pojawiają się przy tej metodzie to oszacowanie właściwego poziomu pokrycia diagnostycznego (ang.: Diagnostic Coverage – DC) oraz wyliczenia MTTFd. Kolejny problem to nieobjęcie w normie [14] urządzeń o rzadkim przywołaniu do pracy.

W przypadku nowych urządzeń dla każdego elementu są dostępne karty katalogowe, gdzie można uzyskać szukane dane niezawodnościowe, jednak w przypadku urządzeń wyprodukowanych przed rokiem 2000 nie jest to już tak oczywiste. Wtedy należy wstawiać dane statystyczne, które zakładają bardziej zachowawcze wartości.

3. ZAGADNIENIA DO ROZWINIĘCIA

Wprowadzone nowoczesne metody zarządzania utrzymaniem ruchu skutkują niskim poziomem awaryjności linii na poziomie 4%, jednakże dalsze ograniczenie tej wartości nie jest już możliwe bez znacznych nakładów finansowych, co jest dla przedsiębiorstwa nieopłacalne. Brak jest dostępnej metody lub narzędzia, które pozwoliłoby zredukować awaryjność przy akceptowalnej proporcji koszt/zysk.





Kategoria	B	1	2	2	3	3	4
DC _{avg}	niezn.	niezn.	niskie	średnie	niskie	średnie	wysokie
MTTF _d kanału							
- Niski	a	nie dot.	a	b	b	c	nie dot.
- Średni	b	nie dot.	b	c	c	d	nie dot.
- Wysoki	nie dot.	c	c	d	d	d	e

Rys. 4 Relacje występujące pomiędzy kategoriami, DC_{avg}, MTTFd każdego kanału i PL. Uproszczona metoda szacowania PL uzyskiwanego przez SRP/CS [3]

Ten sam problem ma miejsce w przypadku produkcji wyrobu niezgodnego z powodu defektów maszyny. Wiele zbieranych informacji nie podlega analizom statystycznym, które mogłyby dostarczyć cennych informacji o przyczynach pierwotnych niektórych postojów linii. Kolejną trudność powstaje przy działaniach mających zapewnić odpowiedni poziom bezpieczeństwa maszyn. Chodzi o ustalenie racjonalnych częstotliwości oraz zakresu czynności testowania elementów układów bezpieczeństwa. Ostatnim zagadnieniem jest projektowanie funkcji bezpieczeństwa wynikające z modyfikacji instalacji i nowych analiz ryzyka.

4. PODSUMOWANIE

W niniejszym artykule przedstawiono aktualne problemy zarządzania niezawodnością i bezpieczeństwem linii produkcyjnej na przykładzie linii produkcji półfabrykatów gumowych. Przedstawione zagadnienia stają się coraz bardziej aktualne i wymagają dalszych prac badawczych oraz opracowania kompleksowych narzędzi i publikacji, które pozwolą na wdrożenie nowoczesnych

rozwiązań w celu poprawy niezawodności i bezpieczeństwa maszyn i urządzeń.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Suzuki T.: TPM in process Industries, Oregon: Productivity Press, Portland 1994.
2. Rausand M.: Reliability centered maintenance. Reliability Engineering and System Safety 60, str. 121-132, 1998.
3. PN-EN ISO 13849-1:2016-02, Bezpieczeństwo maszyn -- Elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem -- Część 1: Ogólne zasady projektowania. Polski Komitet Normalizacyjny, 2016.
4. PN-EN 61508: Bezpieczeństwo funkcjonalne E/E/EP systemów związanych z bezpieczeństwem. Części 1-7. Polski Komitet Normalizacyjny, 2010.
5. Kosmowski, K.T.: Podstawy bezpieczeństwa funkcjonalnego. Politechnika Gdańska, Gdańsk 2015.
6. Kosmowski K.T., Śliwiński M., Piesik J.: Czynniki ludzkie w analizie bezpieczeństwa funkcjonalnego, Zarządzanie bezpieczeństwem funkcjonalnym, Jurata 2004.
7. Deshpande V.S., Modak J.P.: application of RCM to a medium scale industry. Reliability Engineering and System Safety 77, str.31-43, 2002.
8. MIL-STD-2173(AS): Reliability-Centered Maintenance Requirements for Naval Aircraft, Weapons systems and Support Equipment, Department of the Defense United States of America, Washington 1986.
9. O-CR-001: Life cycle cost for systems and equipment. Lysaker: Norsok Standard Rev. 1, 1996.
10. Leine L.: Design for maintainability. Proceedings of an international symposium on nuclear power plant outage experience, Karlsruhe 18-21 June 1984, IAEA, Wiedeń 1984.
11. Dunn S.: Moving from a Repair-focused to a Reliability-focused Culture. www.reliabilityweb.com 2007.
12. http://www.hf-group.com; Data odczytu- 5.06.2011
13. Dzwirek M., Hryniewicz O.: Praktyczne przykłady wyznaczania częstości kontroli okresowych związanych z bezpieczeństwem systemów sterowania maszynami. Przegląd elektrotechniczny. Nr 5a/2012. Warszawa 2012, s.290-295.
14. Dyrektywa 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie ujednolicenia przepisów dotyczących maszyn, zmieniająca dyrektywę 95/16/WE. OJ L 157, 26, 9.06.2006.

CURRENT RELIABILITY AND SAFETY MANAGEMENT ISSUES OF PRODUCTION LINES

In the paper, are presented current problems shown by way of the sample line production of semi-finished products. Modern production lines, designed according to the latest requirements of ISO standards and optimized for the economic aspects, as well as the older production lines, faces the problems to ensure adequate reliability as a function of costs while ensuring the required safety level. Factory equipped with computerized processes and enhanced diagnostic tools often do not use a lot of information's that are collected from the hardware. Many possible to detect and to prevent defects still do not have the founded root cause. In order to ensure an adequate level of safety it is required periodic inspection of safety features. Determination of the optimal frequency of testing poses difficulties in many companies. The mathematical approach isn't very common, and demands high level of technical knowledge and familiarity with the norms and safety aspects. Determining the level of safety after the modification of equipment and adapt it to the requirements put technical departments in the face of new requirements and problems.

Keywords: periodical inspection, maintenance KPI, PL.