

Paweł BŁASZCZAK¹

Opiekun naukowy: Roman STRYCZEK²

PROJEKTOWANIE SYSTEMÓW BEZPIECZEŃSTWA NA ZROBOTYZOWANYCH STANOWISKACH PRACY

Streszczenie: Artykuł zawiera wytyczne do projektowania systemów bezpieczeństwa na zrobotyzowanych stanowiskach pracy. Omówiono przypadek integracji istniejących maszyn z robotem przemysłowym i zastosowane rozwiązania gwarantujące wymagany poziom bezpieczeństwa.

Słowa kluczowe: systemy bezpieczeństwa, stanowisko zrobotyzowane, robot przemysłowy

DESIGNING SAFETY SYSTEM FOR ROBOT WORKSTATION

Summary: The article contains guidelines for the design of safety systems at robotic workstations. The case of integration of existing machines with an industrial robot and the solutions used to guarantee the required level of safety are discussed.

Keywords: safety systems, robotized station, industrial robot

1. Wstęp

Automatyzacja i robotyzacja procesów produkcyjnych jest zjawiskiem powszechnym i w zasadzie nieuniknionym. Jest to związane z wieloma czynnikami np. koniecznością poprawy warunków pracy, eliminacją błędów ludzkich spowodowanych powtarzalną pracą, a przede wszystkim ze wzrostem kosztów zatrudnienia. Zastąpienie ludzi robotami przemysłowymi nie oznacza całkowitej eliminacji pracy człowieka w realizacji produkcji, lecz jej znaczne ograniczenie, głównie do uzupełniania potrzebnych komponentów i odbierania gotowych wyrobów. Taka współpraca człowieka z robotem wiąże się z koniecznością należytego zabezpieczenia stanowisk przed przypadkowym lub nieuprawnionym wejściem w strefę działania maszyny. Najczęściej stosowanym zabezpieczeniem jest budowa tzw. celi czyli odpowiednio ogrodzonego obszaru, wyposażonego w newralgicznych

¹ Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, KTMiA, p.blaszczak@vp.pl

² dr hab. inż. prof. ATH, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, r.stryczek@ath.bielsko.pl

miejscach w osłony, które mają skutecznie chronić ciało człowieka oraz jego poszczególne części, np. oczy czy kończyny. Zasady związane z doбором właściwych środków ochronnych regulowane są przez szereg przepisów. Do zapewnienia bezpieczeństwa na zintegrowanych stanowiskach zrobotyzowanych należy podchodzić kompleksowo, jak do jednej nowej maszyny, a nie na zasadzie traktowania każdego urządzenia osobno. Należy przewidzieć wszystkie tryby specjalne działania linii, np. tryb serwisowy i przewidywać potencjalne zagrożenia, nawet jeśli mogą być wywołane przez błędy ludzkie lub celowe działanie. Poza tym należy mieć świadomość, że w trendzie silnej cyfryzacji systemów przemysłowych coraz większe zagrożenie dla integralności systemów robotycznych stanowią ataki cybernetyczne [1].

2. Normy i ocena ryzyka

Maszyna lub zintegrowane stanowisko musi zostać zaprojektowane i zbudowane zgodnie z wymaganiami wszystkich obowiązujących dyrektyw. W szczególności Dyrektywy Maszynowej 2006/42/WE, Dyrektywy ATEX, Dyrektywy EMC, Dyrektywy LV, norm zharmonizowanych z dyrektywami powiązanymi, zasad BHP i zasad ergonomii. Poniżej zestawienie norm [2].

- PN-EN ISO 12100:2012 „Bezpieczeństwo maszyn. Ogólne zasady projektowania. Ocena ryzyka i zmniejszanie ryzyka”.
Zdefiniowano podstawowe terminy oraz określono metodykę oraz zasady oceny i zmniejszania ryzyka, aby ułatwić projektantom zapewnienie bezpieczeństwa na etapie projektowania maszyn.
- PN-EN ISO 10218-1:2011E „Roboty do pracy w środowisku przemysłowym. Wymagania bezpieczeństwa. Część 1: Robot”.
Określa wymagania i wskazówki dotyczące projektowania, urządzeń ochronnych i procedur w aplikacjach z wykorzystaniem robotów. Podstawowe zagrożenia występujące w aplikacjach z wykorzystaniem robotów wraz ze sposobami redukcji wymienionych zagrożeń.
- PN-EN ISO 10218-2:2011E „Roboty i urządzenia dla robotyki. Wymagania bezpieczeństwa dla robotów przemysłowych. Część 2: System robotowy i integracja”.
Określa wymagania dla integracji robotów przemysłowych, systemów robotów przemysłowych oraz cel robotów. Dostarcza niezbędnych informacji dla projektowania, wytwarzania, instalacji, obsługi, utrzymania i demontażu systemów robotów przemysłowych i ich cel. Integracja dotyczy również niezbędnych urządzeń wchodzących w skład systemów robotów i ich cel.
- PN-EN IEC 62061:2021-12 „Bezpieczeństwo maszyn - Bezpieczeństwo funkcjonalne systemów sterowania związanych z bezpieczeństwem”.
Określa wymagania oraz podaje zalecenia dotyczące konstrukcji, integracji i walidacji systemów sterowania związanych z bezpieczeństwem (SCS) stosowanych w maszynach. Stosuje się ją do systemów sterowania używanych pojedynczo lub w kombinacjach, do realizacji funkcji bezpieczeństwa w maszynach, których nie trzyma się w rękę podczas pracy, łącznie z grupami maszyn pracującymi wspólnie w sposób skoordynowany.

- PN-EN ISO 13849-1:2016-02 „Bezpieczeństwo maszyn - Elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem. Część 1: Ogólne zasady projektowania”. W niniejszej części ISO 13849 zawarto wymagania dotyczące bezpieczeństwa i wskazania dotyczące zasad projektowania i integracji elementów systemów sterowania związanych z bezpieczeństwem (SRP/CS), łącznie z projektowaniem oprogramowania.
- PN-EN ISO 11161: 2007+A1:2010 „Bezpieczeństwo maszyn. Zintegrowane systemy produkcyjne. Wymagania podstawowe.”
Podaje strategię zapewniania bezpieczeństwa, specyfikację zintegrowanego systemu produkcyjnego, jego użytkowanie oraz wymagania dotyczące przestrzeni wymaganej do użytkowania i dostępu do systemu. Podano także ocenę ryzyka z uwzględnieniem wyznaczania ograniczeń dotyczących systemu, identyfikacji sytuacji zagrożeń i zagrożeń, szacowania ryzyka i jego oceniania. Podano zmniejszanie ryzyka, stosowanie technicznych środków ochronnych oraz zakresu kontroli różnych urządzeń ochronnych i sterujących związanych ze strefą zadaniową. Podano także wymagania dotyczące informacji dla użytkownika.

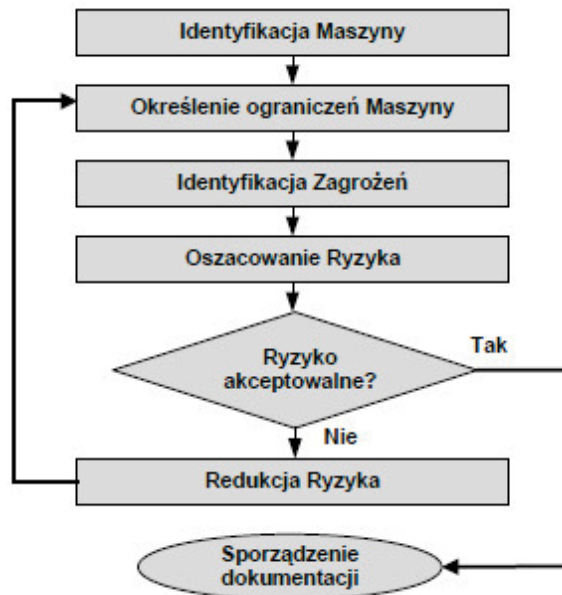
W celu oceny poziomu zagrożenia stwarzanego przez niebezpieczny element stanowiska konieczne jest przeprowadzanie procesu oceny ryzyka zgodnie z normą PN-EN ISO 12100:2012 i na podstawie wyniku tej analizy dobór odpowiedniego poziomu zapewnienia bezpieczeństwa PL oraz architektury układu (kategorii bezpieczeństwa) zgodnie z EN ISO 13849-1.

2.1 Metoda analizy ryzyka

Norma PN-EN ISO 12100:2012 nakazuje by proces oceny ryzyka odbywał się logicznie, krokowo, w uporządkowany sposób, tak aby zbadać wszystkie zagrożenia związane z maszyną. Po tym etapie, jeżeli poziom ryzyka jest wysoki, konieczna jest implementacja środków ochronnych i powrót do punktu początkowego algorytmu. Proces jest kontynuowany iteracyjnie do momentu kiedy ryzyko zostanie zmniejszone do poziomu akceptowalnego przez projektanta i zleceniodawcy budowy maszyny [3].

Proces oceny ryzyka obejmuje następujące etapy (rysunek 1):

1. Identyfikacja maszyny.
2. Identyfikacja zagrożeń.
3. Oszacowanie ryzyka.
4. Ewaluacja ryzyka – odwołania do norm i przepisów.
 - 4.1. Ocena konstrukcji.
 - 4.2. Ocena technicznych środków bezpieczeństwa.
 - 4.3. Ocena środków informowania i ostrzegania.
5. Propozycje środków ograniczających ryzyko.



Rysunek 1. Algorytm procesu oceny ryzyka [3]

2.2 Szacowanie i akceptowalność ryzyka

Celem oceny ryzyka (analizy zagrożeń) jest dobór i zastosowanie odpowiednich środków ograniczających ryzyko. Najbardziej popularnym podejściem jest wybór klasycznej metody „risk score” [4] dostosowanej do potrzeb oceny bezpieczeństwa maszyn i urządzeń.

W celu oceny danego zagrożenia należy ustalić:

- Stopień możliwych obrażeń (S).
- Częstotliwość / czas ekspozycji (E).
- Prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia niebezpiecznego (P).

Współczynnik ryzyka R oblicza się wg formuły (1), a wartości poszczególnych składników należy wybrać z tabel 1-3.

$$R = S * E * P \quad (1)$$

Tabela 1. Wartości współczynnika P [4]

Prawdopodobieństwo wystąpienia (P)	Wartość
Tylko teoretycznie możliwe	0.1
Praktycznie niemożliwe	0.2
Możliwe do pomyślenia	0.5
Tylko sporadycznie możliwe	1.0
Mało prawdopodobne, ale możliwe	3.0
Całkiem prawdopodobne	6.0
Bardzo prawdopodobne	10.0

Tabela 2. Wartości współczynnika E [4]

Częstotliwość /czas ekspozycji (E)	Wartość
Znikoma (raz do roku)	0.5
Minimalna (kilka razy rocznie)	1
Okazjonalna (raz na miesiąc)	2
Sporadyczna (raz na tydzień)	3
Częsta (codzienna)	6
Stała	10

Tabela 3. Wartości współczynnika S [4]

Stopień możliwych obrażeń (S)	Wartość
Odwracalne -zadrapanie / stłuczenie	1
Odwracalne - Złamanie drobne – palca od ręki lub nogi, oparzenie I stopnia	3
Częściowo odwracalne - Złamanie ręki, ramienia lub nogi, oparzenie II stopnia	7
Nieodwracalne - Utrata kończyny, utrata wzroku lub słuchu, oparzenie głębokie II stopnia	15
Fatalne – pojedyncza ofiara śmiertelna, zagrożenie życia	40
Katastrofa – kilka ofiar śmiertelnych	100

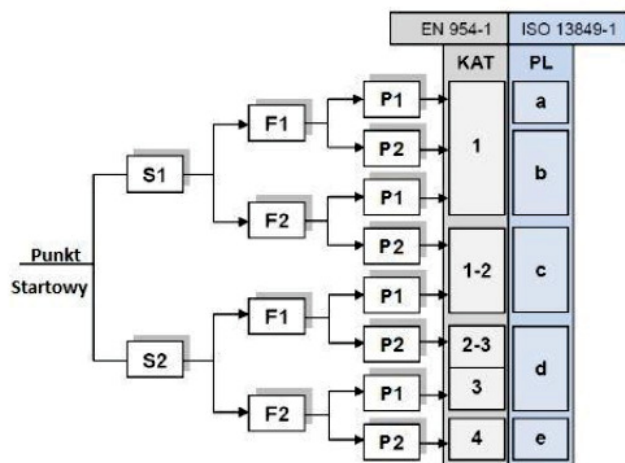
Wartość uzyskanego współczynnika ryzyka należy odnieść do poniższej tabeli 4. W praktyce, gdy poziom ryzyka przyjmuje wartość średnią, konieczne jest wdrożenie dodatkowych środków redukcji ryzyka.

Tabela 4. Interpretacja wartości uzyskanego współczynnika ryzyka R [4]

R	Ryzyko	Komentarz
<7	Ryzyko pomijalne	Praktycznie bez wpływu na zdrowie i bezpieczeństwo, środki zaradcze nie są wymagane.
8-20	Ryzyko bardzo niskie	Bardzo niskie ryzyko dla zdrowia i bezpieczeństwa, środki zaradcze nie są wymagane. Sugerowany przegląd bezpieczeństwa podczas konserwacji maszyny.
21-70	Ryzyko niskie	Występuje ryzyko dla zdrowia i bezpieczeństwa, ale niskie. Sugerowane użycie środków ochrony osobistej i/lub szkolenie pracowników oraz procedury bezpiecznej pracy. Przegląd bezpieczeństwa podczas konserwacji maszyny.
71-200	Ryzyko średnie	Występuje ryzyko dla zdrowia i bezpieczeństwa. Należy rozważyć wprowadzenie środków zaradczych. Konieczne użycie środków ochrony osobistej i/lub szkolenie pracowników. Procedury bezpiecznej pracy. Sugerowane okresowe monitorowanie stanu bezpieczeństwa.
201-400	Ryzyko wysokie	Potencjalnie niebezpieczne, wymagające implementacji środków zaradczych niezwłocznie.
>400	Ryzyko bardzo wysokie	Natychmiastowe wstrzymanie prac i podjęcie działań naprawczych redukujących ryzyko do poziomu akceptowalnego.

2.3 Określenia wymaganego poziomu nienaruszalności bezpieczeństwa

Dla wyznaczenia poziomów nienaruszalności bezpieczeństwa PL (Performance Level), w celu doboru urządzeń i elementów sterowania odpowiedzialnych za bezpieczeństwo należy korzystając z tabeli 5 zastosować metodę grafów zawartą w normie PN-EN 13849-1 (rysunek 2).



Rysunek 2. Graf doboru poziomu nienaruszalności bezpieczeństwa PL [5]

Tabela 5. Opis elementów grafu PN-EN 13849-1 .[5]

S – ciężkość przewidywanego urazu	F – częstotliwość i/lub czas ekspozycji	P – możliwość uniknięcia zagrożenia lub ograniczenia szkody
S1 – lekki, pozwalający na powrót do formy i wykonywania zadań sprzed wypadku S2 – ciężki, powodujący trwałe ubytki zdrowia lub śmierć	F1 – rzadko do mniej i/lub czas narażenia jest krótki F2 – częste do stałe i/lub czas narażenia jest długi	P1 – możliwe w określonych warunkach P2 – prawie niemożliwe

3. Cella zrobotyzowana

Najczęściej stosowanym w przemyśle sposobem zabezpieczenia obszaru pracy robota jest utworzenie tzw. „celi zrobotyzowanych”. Wykonuje się je z odpowiednio dobranych certyfikowanych osłon i ogrodzeń. Wewnątrz celi umieszcza się robota lub kilka robotów, a poza jej obszarem szafy sterujące oraz panele HMI i panele do programowania robotów (teachpendanty). Zwykle nie jest możliwe całkowite wygradzenie takiego obszaru ze względu na konieczność ręcznego uzupełniania komponentów. W przypadku zastosowania transporterów rolkowych występują obszary niezabezpieczone ogrodzeniem, przez które można dostać się do wnętrza celi. Takie miejsca należy zabezpieczyć barierami optycznymi. Dodatkowym zabezpieczeniem celi robota jest zastosowanie urządzeń wykrywających obecność

człowieka w obszarze pracy robota, np. mat czułych na nacisk, skanerów laserowych lub termowizyjnych czujników ruchu. Strefy wejścia do obszaru pracy robota powinny być zabezpieczone brankami wraz z systemem ryglowania i możliwością otworzenia od wewnątrz. Zwolnienie rygla może nastąpić dopiero w momencie, gdy robot jest bezpiecznie zatrzymany. System ryglowania powinien być zintegrowany z systemem bezpieczeństwa celi. Dla dodatkowej kontroli bezpieczeństwa stosuje się różnego rodzaju klucze bezpieczeństwa, które wyjmują się z czytników przed wejściem do celi i zwraca dopiero w momencie opuszczenia strefy pracy robota. Dzięki takiemu rozwiązaniu nieuprawniona osoba nie jest w stanie bez klucza bezpieczeństwa uruchomić robota. W przypadku, gdy cela jest rozległa, innym sposobem kontroli wyjścia z linii produkcyjnej jest wykonanie sekwencji „pre resetu” polegającej na naciskaniu odpowiednich przycisków i przechodzeniu operatora opuszczającego celę przez kolejne bariery. Jeżeli operator nie może łatwo zweryfikować czy ktokolwiek znajduje się wewnątrz ogrodzenia ochronnego, należy użyć widzialnych i słyszalnych ostrzeżeń przed wprawieniem robota w ruch. W skład systemu bezpieczeństwa wchodzi również kolumny i syreny ostrzegawcze. Wiele wytycznych do projektowania systemu bezpieczeństwa cel zrobotyzowanych i doboru urządzeń ochronnych można znaleźć w samej instrukcji użytkownika robota.

Jeżeli zastosowano skanery laserowe do celów bezpieczeństwa, muszą one spełniać następujące wymagania:

- Wszystkie skanery muszą być instalowane tak, aby nikt nie mógł wejść do strefy zagrożenia nie uaktywniając ich.
- Żaden z czynników środowiska w którym pracuje system nie może wpływać negatywnie na działanie skanera.
- Jeśli skaner został uaktywniony, ponowne uruchomienie systemu zrobotyzowanego może być możliwe pod warunkiem, że nie spowoduje to innych zagrożeń.
- Wznowienie ruchów robota wymaga usunięcia wykrytej przyczyny zadziałania skanera, ale usunięcie takiej przyczyny nie może powodować automatycznego wznowienia pracy.

Z robotem ściśle związane są chwytaki lub dedykowane narzędzia. One również podlegają ocenie bezpieczeństwa. Chwytaki muszą być zaprojektowane, skonstruowane lub zabezpieczone tak, aby:

- Awaria zasilania nie skutkowałą zwolnieniem ładunku ani nie powodowała niebezpiecznych sytuacji.
- Siły statyczne i dynamiczne wywołane ładunkiem i chwytakiem nie wykaczały poza granice obciążalności robota.

3.1 Ogrodzenie ochronne celi zrobotyzowanej

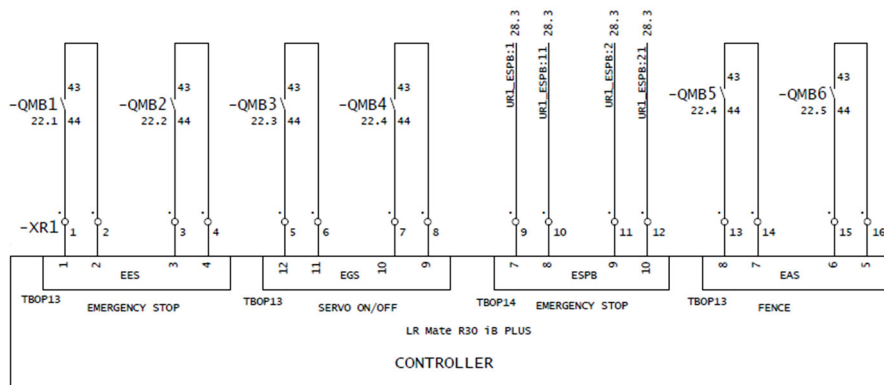
Wytyczne do budowy ogrodzeń ochronnych opisują następujące podstawowe wymagania:

- Ogrodzenie musi być skonstruowane tak, aby wytrzymywać przewidywalne działania i siły wywierane przez otoczenie.
- Ogrodzenie nie może mieć ostrych brzegów i występow oraz samo nie może stanowić zagrożenia.

- Ogrodzenie musi zapobiegać wejściu do strefy chronionej w inny sposób niż z użyciem bramki serwisowej.
- Bramka i zamek bezpieczeństwa muszą być trwale zamocowane. Do ich demontażu wymagane muszą być odpowiednie narzędzia.
- Ogrodzenie nie powinno przeszkadzać w obserwowaniu procesu produkcji. Powinno też chronić przed zagrożeniami wynikającymi z samego procesu.
- Zamek bezpieczeństwa musi blokować działanie systemu robotyki, dopóki nie nastąpi jego zamknięcie i zaryglowanie.
- Zamknięcie wejścia nie powinno powodować automatycznego wznowienia działania linii. Ponowne uruchomienie robota musi być wywołane zamierzonym działaniem na stanowisku sterowania.

3.2 Robot i wirtualne strefy bezpieczeństwa

Każdy robot przemysłowy wyposażony jest w rozbudowany układ bezpieczeństwa, który może odbierać sygnały z nadrzędnego systemu bezpieczeństwa np. stop awaryjny (emergency stop), stop łagodny (fence open) oraz wysyłać sygnały o własnym stanie np. status własnych przycisków zatrzymania awaryjnego (rys. 3).

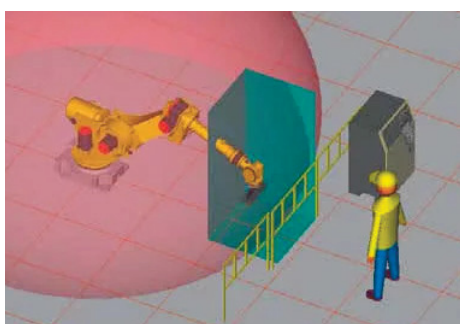


Rysunek 3. Schemat połączenia układu bezpieczeństwa robota Fanuc z nadrzędnym systemem [źródło własne]

Dla robotów i napędów elektrycznych możliwe są trzy rodzaje zatrzymania, tzw. kategorie zatrzymania (EN 60204-1) [6]:

- Kategoria 0 - "Zatrzymanie poprzez natychmiastowe zdjęcie zasilania z elementów wykonawczych maszyny (np. niekontrolowane zatrzymanie)". Zasilanie serwonapędu robota zostaje wyłączone, a droga hamowania jest niekontrolowana.
- Kategoria 1 - "Kontrolowane zatrzymanie z dostępnym zasilaniem dla elementów wykonawczych maszyny w celu ich zatrzymania, a następnie odcięcie zasilania jeśli wszystkie elementy wykonawcze przestały się poruszać." Robot jest zwalniany do momentu zatrzymania. Po zatrzymaniu zasilanie serwonapędu zostaje wyłączone.
- Kategoria 2 - "Kontrolowane zatrzymanie z zasilaniem dostępnym dla elementów wykonawczych maszyny". Robot jest zwalniany do momentu zatrzymania, a zasilanie serwonapędu pozostaje włączone.

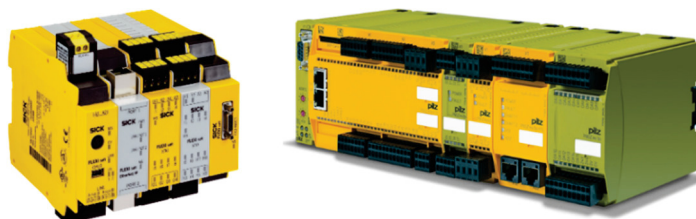
Producenci robotów przemysłowych bardzo często oferują funkcjonalność wirtualnych stref bezpieczeństwa, czyli niezależnego systemu kontrolującego położenie ramion robota, który umożliwia elastyczną i w pełni bezpieczną integrację robota z przestrzenią dostępną dla ludzi lub eliminację blokad mechanicznych na osiach robota. Systemy te, w określonych warunkach, nie pozwalają na zamierzone przekroczenie wybranych stref czy innych parametrów jak prędkość czy określony kąt narzędzia. Firma Fanuc udostępnia system Dual Check Safety (DCS). Jest to wbudowany system bezpieczeństwa, zgodny z europejskimi standardami, w którym dwa mikroprocesory analizują realną pozycję i prędkość serwonapędów zapewniając bezpieczeństwo ludzi pracujących w pobliżu robota (rys. 4).



Rysunek 4. Wizualizacja stref DCS. Po aktywacji strefy pracownik może bezpiecznie operować w zielonym sektorze [7]

3.3 Konfigurowalne sterowniki bezpieczeństwa

Konfigurowalne systemy bezpieczeństwa umożliwiają realizację całego spójnego układu bezpieczeństwa linii produkcyjnej za pomocą jednej jednostki sterującej i modułów bezpiecznych wejść/wyjść. Stosowane one są w maszynach, w których ocena ryzyka określa jasno wymagany poziom niezawodności aplikacji oraz z potrzeby monitorowania większej liczby funkcji bezpieczeństwa. System jest elastyczny i może być rozbudowany o kolejne moduły i specyficzne funkcje np. obsługa krzywki w prasie mechanicznej.



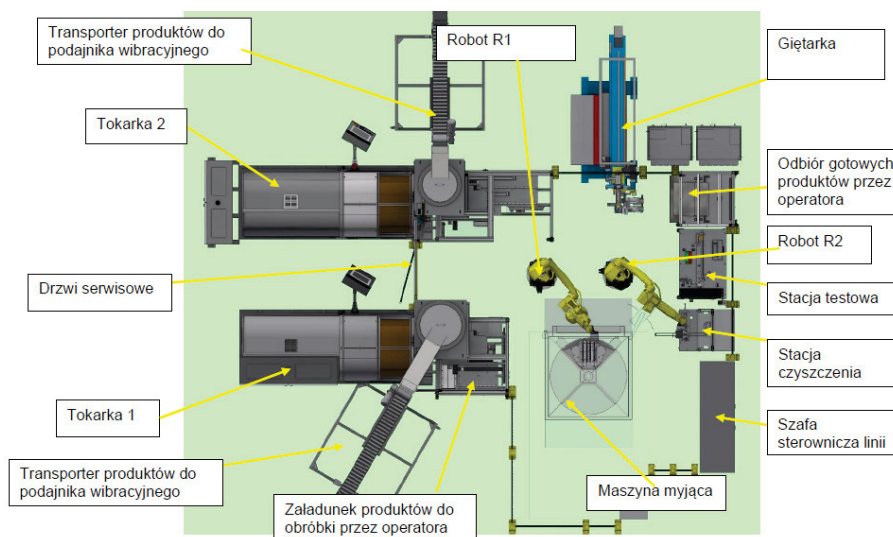
Rysunek 5. Konfigurowalne sterowniki bezpieczeństwa SICK Flexi Soft oraz PILZ Pnoz Multi [8]

Największymi zaletami systemu konfigurowalnego są: oszczędność miejsca i przewodów w szafie sterowniczej oraz duże możliwości komunikacyjne ze sterownikiem PLC i pełna diagnostyka układu bezpieczeństwa przez wbudowany w maszynę interfejs HMI np. dotykowy panel operatorski. Sterowniki bezpieczeństwa

(rys. 5) posiadają certyfikowane bloki funkcji bezpieczeństwa, dlatego ich programowanie jest uproszczone i niweluje możliwość popełnienia błędów podczas projektowania układu bezpieczeństwa. Zmiany w programie chronione są hasłem, a nienaruszalność programu zapewniona jest za pomocą sumy kontrolnej i daty kompilacji.

4. Przykład praktyczny, integracja maszyn z robotem przemysłowym

Zadaniem firmy integracyjnej było zaprojektowanie automatycznej linii produkcyjnej składającej się z czterech maszyn (dwie tokarki, myjka oraz giętarka) i dwóch robotów przemysłowych Fanuc. Do tej pory maszyny były obsługiwane przez operatorów. Dzięki instalacji robotów możliwe jest pełne zautomatyzowanie linii. Pierwotnie tokarki posiadały szereg osłon z krańcówkami, a giętarka była chroniona ogrodzeniem z bramką i skanerem bezpieczeństwa. Każda maszyna posiada swój własny przełącznik bezpieczeństwa odpowiedzialny za podstawowe funkcje bezpieczeństwa oraz tryby specjalne np. tryb serwisowy. Przełącznik musi pozostać w maszynie, bowiem nie jest dostępny zapis realizowanej przez niego logiki bezpieczeństwa. Jest to chronione hasłami znanymi tylko producentom maszyn. Planowany układ maszyn przedstawiony jest na poniższym rysunku (rys. 6). Cella zrobotyzowana została ogrodzona, a dostęp do wnętrza jest możliwy tylko przez ryglowaną bramkę serwisową. Ogrodzenie chroni również przed dostępem do tokarek, z przyczyn technologicznych pozbawionych osłon. Komponenty uzupełniane są przez operatora do zasobnika wyposażonego w optyczną kurtynę bezpieczeństwa. Podobnie stacja odbioru gotowych i wybrakowanych produktów chroniona jest kurtynami oraz krańcówkami bezpieczeństwa.



Rysunek 6. Rysunek linii produkcyjnej składającej się z tokarek, myjki, giętarki oraz dwóch robotów przemysłowych [źródło własne]

Zgodnie z normami dotyczącymi integracji maszyn oraz względami technologicznymi opracowano wytyczne do projektu systemu bezpieczeństwa:

- Naciśnięcie dowolnego przycisku bezpieczeństwa na dowolnym urządzeniu musi powodować awaryjne wyłączenie całej linii.
- Każda stacja operatorska, panel, kasetta inicjująca ruchy niebezpieczne musi być wyposażona w czerwony przycisk zatrzymania awaryjnego na żółtym tle. We wnętrzu zintegrowanego stanowiska w strefie niebezpiecznej również powinien być umieszczony przycisk zatrzymania awaryjnego.
- Błąd lokalnego przekaźnika bezpieczeństwa lub wyłączenie zasilania jednej z maszyn nie powinien awaryjnie zatrzymywać pozostałych urządzeń, a jedynie procesowo wstrzymywać pracę linii.
- Skaner bezpieczeństwa, zainstalowany fabrycznie na giętarcie, musi bezpiecznie zatrzymywać i zapobiegać uruchomieniu robotów i giętarki w cyklu automatycznym. Skaner musi chronić maksymalnie duży obszar wewnątrz celi.
- W przypadku otworzenia drzwi serwisowych należy bezpiecznie wyłączyć roboty, tokarki oraz giętarke.
- Ze względu na skomplikowany kształt celi, występowanie miejsc niechronionych przez skaner oraz brak widoczności całej linii z miejsca instalacji głównego panelu sterowniczego, konieczne jest dodanie wewnątrz celi przycisku „pre reset”. Przed opuszczeniem celi operator musi potwierdzić przyciskiem, że wewnątrz nie znajduje się inna osoba i w określonym czasie wyjść z celi oraz zaryglować bramkę serwisową.
- W miejscach pracy operatora aktywacja kurtyny optycznej powinna uniemożliwiać podjazd robota w jego stronę na odległość mniejszą niż bezpieczna.
- Otwarcie drzwi serwisowych celi powinno odpowiedzieć układ pneumatyczny, zapewniając minimalnie poziom bezpieczeństwa PL=c.

5. Realizacja projektu jednolitego systemu bezpieczeństwa

W budowie celi zastosowano centralny sterownik bezpieczeństwa zbierający sygnały z każdej maszyny i wszystkich systemów bezpieczeństwa takich jak: kurtyny optyczne, krańcówki, przyciski bezpieczeństwa oraz skaner bezpieczeństwa. Budowa jednolitego układu bezpieczeństwa polegała na fizycznym przełączeniu przewodów przycisków bezpieczeństwa z maszyn do sterownika centralnego. W miejsce po przyciskach wprowadzono sygnał zwrotny ze sterownika centralnego do lokalnych przekaźników bezpieczeństwa w szafach sterowniczych poszczególnych maszyn. Sygnał OSSD ze skanera bezpieczeństwa został dodatkowo wprowadzony do sterownika centralnego i odpowiada on również za zatrzymanie cyklu automatycznego robotów. Ze względu na brak wejść bezpiecznych w tokarkach odpowiedzialnych za przejście tych maszyn w tryb serwisowy, bezpieczne wyłączenie następuje przez rozwarcie głównych obwodów bezpieczeństwa – zatrzymanie awaryjne. Giętarka posiada specjalne, bezpieczne wejście odpowiedzialne za obsługę bramki ogrodzenia ochronnego, które jest rozbrajane. Roboty zatrzymywane są przez rozwarcie obwodu „fence” przed odryglowaniem

bramki, co powoduje łagodne zatrzymanie kategorii 1. W czasie pracy automatycznej, gdy kurtyna optyczna w miejscu rozładunku zostanie przesłonięta, w układzie bezpieczeństwa robota aktywowana jest dodatkowa strefa DCS. Blokują ona działanie robota w bezpiecznej odległości wyznaczonej na podstawie zasięgu rąk operatora lub gdy ta odległość jest mniejsza, następuje bezpieczne zatrzymanie robota. Zastosowane kurtyny optyczne zapewniają poziom bezpieczeństwa PL=e. W elementach pneumatycznych należy unikać zmagazynowanej energii pneumatycznej, dlatego w budowie stacji nie zastosowano zaworów zwrotnych sterowanych na siłownikach. Siłowniki pneumatyczne nie są zatrzymywane poprzez blokowanie pozycji pośredniej, tylko pracują w całym swoim zakresie mechanicznym.

6. Podsumowanie

Realizacja jednolitego systemu bezpieczeństwa przy integracji wielu maszyn jest zadaniem bardzo trudnym, bowiem w wielu przypadkach starsze maszyny nie są zaprojektowane z aktualnie obowiązującymi normami. Każda poważna zmiana w ich budowie musi redukować rozpoznane zagrożenia i podnosić poziom bezpieczeństwa do aktualnych standardów przyjętych w przedsiębiorstwie produkcyjnym i zgodnych z przepisami prawa. Kolejnym ważnym tematem jest aktualizacja dokumentacji maszyn. Często jest to żmudne zadanie spowodowane nagromadzeniem się przez lata niezgodności z dokumentacją fabryczną. Inżynier automatyk, biorący udział w integracji linii produkcyjnych, powinien wykazywać się szeroką wiedzą z zakresu metod oceny ryzyka i wytycznych do budowy układów bezpieczeństwa. Rozpoznanie zagrożeń we wczesnej fazie projektu pozwala na dobór odpowiednich rozwiązań technicznych i uniknięcie kosztów zmiany budowy linii produkcyjnej na etapie jej odbiorów i uruchomienia.

LITERATURA

1. DIEBER B., BREILING B., TAURER S., et al. (2017), Security for the Robot Operating System. *Journal of robotics and autonomous systems*, 98:192-203.
2. Strona internetowa: <https://sklep.pkn.pl/> 16.11.2022.
3. Strona internetowa: <https://www.knafftech.pl/index.php>, 13.11.2022.
4. Strona internetowa: <https://www.bhpex.pl/bhp/ocena-ryzyka-zawodowego/metoda-risk-score/>, 13.11.2022.
5. Strona internetowa: https://www.oemautomatic.pl/produkty/komponenty-bezpieczenstwa/ogolne-zasady-bezpieczenstwa/nowe-normy-en-iso-13849-1-i-en-62061-_57586, 13.11.2022.
6. KACZMAREK W., PANASIUK J.: Robotyzacja procesów produkcyjnych, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2017.
7. Strona internetowa: <https://automatykab2b.pl/prezentacje/40243-system-bezpieczenstwa-dual-check-safety>, 13.11.2022.
8. Strona internetowa: <https://iautomatyka.pl/czym-jest-i-jak-dziala-sterownik-bezpieczenstwa/>, 13.11.2022.