

# Systemy bezpieczeństwa na stanowiskach zrobotyzowanych

Wojciech Kaczmarek, Jarosław Panasiuk

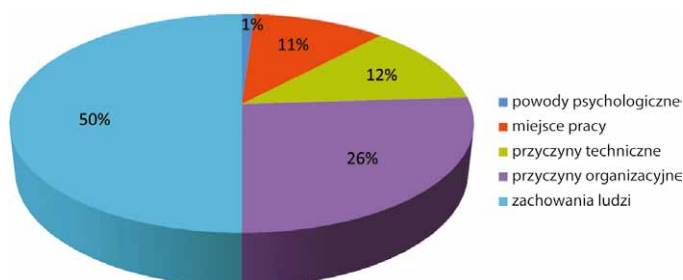
**B**ezpieczeństwo jest jedną z podstawowych potrzeb człowieka, jest stanem dającym poczucie pewności istnienia i gwarancje jego zachowania oraz szanse na doskonalenie.

Bezpieczeństwo odznacza się brakiem ryzyka utraty czegoś dla podmiotu szczególnie cennego, m.in. życia, zdrowia i dóbr (materialnych i niematerialnych). W odniesieniu do stanowisk zrobotyzowanych stanowi ono bardzo szeroki zakres wiedzy oraz kompetencji i odgrywa ważną rolę na etapach projektowania, wytwarzania i eksploatacji zarówno maszyn, jak i całych stanowisk produkcyjnych.

Wszystkie koncepcje bezpieczeństwa mają wspólną cechę w postaci sposobu postępowania, na który się składają:

- wyznaczenie chronionego obiektu oraz celów ochrony;
- analiza scenariuszy uszkodzeń;
- ocena prawdopodobieństwa nastąpienia i potencjalnego stopnia szkód;
- zaprojektowanie działań mających na celu zredukowanie prawdopodobieństwa nastąpienia/wysokości szkód;
- planowanie działań oraz udostępnienia środków do zwalczania i ograniczania szkód, jeśli ryzyko jest przekonujące;
- analiza własnego ryzyka tolerowanego oraz akceptacji ryzyka resztkowego.

Personel obsługujący zrobotyzowane stanowiska produkcyjne ma ciągły kontakt z urządzeniami niebezpiecznymi, dlatego tak ważne jest prawidłowe stosowanie norm i dyrektyw bezpieczeństwa. Na zautomatyzowanych liniach produkcyjnych sytuacje krytyczne często powstają pod presją czasu, na przykład w celu usunięcia usterki w jednym urządzeniu konieczne jest zatrzymanie całego procesu. Badania naukowe dowodzą, że przyczyną połowy wypadków przy pracy jest zachowanie pracowników (rys. 1).



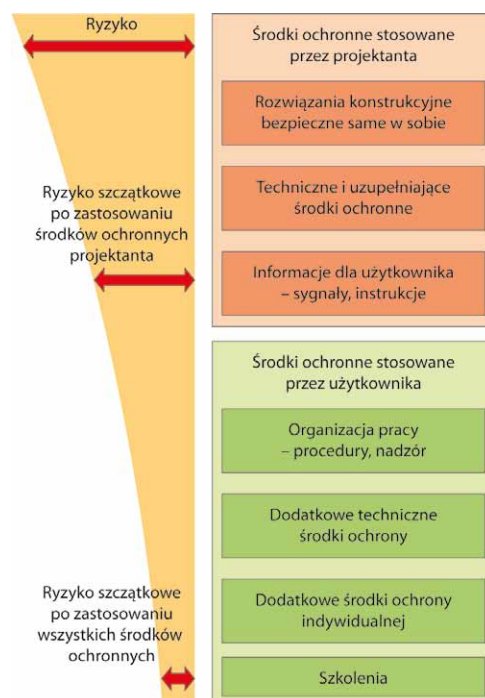
Rys. 1. Przyczyny wypadków w przemyśle

## Bezpieczeństwo maszyn w aspekcie wymagań zawartych w normach

Głównymi aktami prawnymi dotyczącymi wymagań dla maszyn są:

- Dyrektywa maszynowa 2006/42/WE lub rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 października 2008 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn (Dz.U. Nr 199, poz. 1228) – dotyczy projektantów i producentów;
- Dyrektywa 2009/104/WE lub rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 30 października 2002 r. w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy w zakresie użytkowania maszyn przez pracowników podczas pracy (Dz.U. Nr 191, poz. 1596) – dotyczy pracodawców (instalowanie i użytkowanie).

Ogólna strategia stosowania środków ochronnych w maszynach jest określona w normie PN-EN 12100:2012. Według niej zmniejszenie ryzyka mogącego wystąpić w urządzeniu odbywa się w dwóch etapach: projektowania i wytworzenia urządzenia (1 etap) oraz jego instalacji i użytkowania (2 etap) – (rys. 2).



Rys. 2. Ogólna strategia stosowania środków ochronnych w odniesieniu do maszyn

(Źródło: norma PN-EN 12100)

Odpowiednie projektowanie maszyn zarówno pod względem konstrukcyjnym, jak i programowym pozwala na skuteczne wdrożenie działań, które będą odgrywały znaczącą rolę podczas ich eksploatacji. Już na tym etapie należy zwrócić szczególną uwagę na:

- dobór materiałów i rozwiązań konstrukcyjnych, które będą stwarzały jak najmniej zagrożeń – rozwiązania konstrukcyjne bezpieczne same w sobie;
- eliminację zagrożeń niedających się wyeliminować poprzez dobór materiałów i rozwiązań technicznych, lecz przez zastosowanie technicznych środków bezpieczeństwa (np. osłon) – techniczne środki ochronne i uzupełniające środki ochronne;
- wyeliminowanie poziomu ryzyka resztkowego, które może zostać zredukowane jedynie przez użytkownika maszyny przez stosowanie znaków informacyjnych i ostrzegawczych na maszynach, sygnałów i urządzeń ostrzegawczych (np.: świetlnych i dźwiękowych) oraz informacji o zagrożeniach w instrukcji obsługi – informacje o ryzyku resztkowym.

Na zwiększenie bezpieczeństwa maszyny znaczący wpływ ma użytkownik maszyny, który powinien korzystać z informacji przekazanych mu przez producenta maszyny (znaki i ostrzeżenia zamieszczone na maszynie oraz informacje w instrukcji obsługi – §41 rozporządzenia w sprawie ogólnych wymagań bhp MPiPS (Dz.U. z 2003 r. Nr 169, poz. 1650) i pamiętać o zagrożeniach, na jakie może być narażony podczas użytkowania urządzenia zgodnie z przeznaczeniem. Kolejnym ważnym elementem zmniejszającym poziom ryzyka, który zależy od użytkownika, jest odpowiednia organizacja pracy. Pozwala ona uporządkować działania osób użytkujących maszynę w taki sposób, aby w możliwie najmniejszym stopniu narażały ich na niebezpieczeństwo. Pracodawca lub użytkownik urządzenia może również stosować środki ochrony indywidualnej oraz dodatkowe techniczne środki ochronne, które nie zostały wprowadzone przez producenta, a mogą poprawić komfort i bezpieczeństwo pracy użytkownika. Należy też pamiętać

o szkoleniach, ponieważ nawet najlepsze systemy zabezpieczeń i środki ochrony nie ochronią pracownika, który nie będzie miał dostatecznej wiedzy o urządzeniu i zagrożeniach, jakie niesie niewłaściwe jego użytkowanie.

Niezmiernie ważnym problemem jest odpowiednie skonfigurowanie układu sterowania, w którym można wyróżnić dwie funkcje: bezpieczeństwa i sterowania technologicznego, co często prowadzi do wyposażenia stanowisk/maszyny w dwa niezależne układy ściśle ze sobą współpracujące. Należy zaznaczyć, że wszystkie funkcje związane z bezpieczeństwem są nadrzędne w stosunku do funkcji sterowania technologicznego.

Warunkiem koniecznym spełnienia wymagań bezpieczeństwa jest korzystanie z certyfikowanego sprzętu, a warunkiem wystarczającym – uzyskanie za pomocą elementów sterowania właściwych funkcji sterowania bezpieczeństwem (m.in.: funkcja zatrzymania awaryjnego, funkcja zapobiegania niespodziewanemu uruchomieniu).

### **Kategorie bezpieczeństwa**

Zrozumienie podstaw realizacji układów sterowania bezpieczeństwem maszyny jest możliwe dzięki układowi odniesienia, który określa konieczny w danym przypadku poziom bezpieczny (kategorię bezpieczeństwa) dla maszyny lub jej części/sekcji. Zdefiniowane w normie PN-EN ISO 13849-1 kategorie bezpieczeństwa maszyny zostały podzielone na:

- kategorię bezpieczeństwa B;
- pierwszą kategorię bezpieczeństwa;
- drugą kategorię bezpieczeństwa;
- trzecią kategorię bezpieczeństwa;
- czwartą kategorię bezpieczeństwa.

### **Kategoria bezpieczeństwa B**

Kategoria bezpieczeństwa B jest podstawą do pozostałych kategorii, tzn., że w każdym przypadku wraz z wymaganiami kategorii B muszą zostać spełnione wymagania specyficzne dla danej kategorii (rys. 3).



**Rys. 3.** Architektura układu bezpieczeństwa dla kategorii 0 i 1

(Źródło: norma PN-EN ISO 13849-1)

Kategoria bezpieczeństwa B wymaga, aby elementy systemu sterowania związane z bezpieczeństwem były zaprojektowane, dobrane, zbudowane i zestawione oraz zmontowane w sposób zgodny z odpowiednimi normami, zaleceniami producentów oraz z zachowaniem podstawowych zasad bezpieczeństwa dla określonego zastosowania, tak aby mogły sprostać spodziewanym narażeniom związanym z pracą, takim jak używanie materiałów technologicznych (np. smary, środki myjące), a także wpływowi znaczących czynników zewnętrznych (np. drgania, pole elektromagnetyczne). Kategorie ta dopuszcza wystąpienie awarii, która może spowodować utratę funkcji bezpieczeństwa.

W układach kategorii B nie ma pokrycia diagnostycznego ( $DC_{avg}$  = bez diagnostyki), a MTTFD (średni czas do uszkodzenia niebezpiecznego) każdego kanału może być niski do średniego. Takich struktur (zwykle systemy jednokanałowe) nie dotyczy rozważanie CCF (uszkodzenie o wspólnej przyczynie). Maksymalny PL (poziom zapewnienia bezpieczeństwa) osiągalny w kategorii B wynosi  $PL = b$  (patrz rys. 6).

**Pierwsza kategoria bezpieczeństwa**

Spełnienie wymagań pierwszej kategorii bezpieczeństwa (rys. 3) zakłada konieczność spełnienia wymagań kategorii B oraz dodatkowo wymaga stosowania wypróbowanych elementów składowych (powszechnie używanych w przeszłości lub wytworzonych i zweryfikowanych według stosownych zasad) oraz sprawdzonych zasad bezpieczeństwa zgodnych z zasadami sztuki inżynierskiej (ISO 13849-2).

Sprawdzone zasady bezpieczeństwa to:

- zapobieganie określonym defektom (np. zwarciom);
- minimalizacja prawdopodobieństwa wystąpienia określonych defektów (np. nieobciążanie obwodów w sposób maksymalny);
- ukierunkowanie na określony rodzaj defektu (np. funkcja otwarcia obwodu w wypadku konieczności odcięcia dostawy energii po wykryciu defektu);
- bardzo wczesne wykrywanie defektu;
- ograniczanie skutku defektu (np. wyłączanie w przypadku przebiecia izolacji).

Kategoria ta dopuszcza wystąpienie defektu, który może spowodować utratę funkcji bezpieczeństwa, ale prawdopodobieństwo defektu jest mniejsze niż w przypadku kategorii B.

W układach kategorii 1 nie ma pokrycia diagnostycznego ( $DC_{avg}$  = bez diagnostyki), a MTTFD każdego kanału powinien być wysoki. Takich struktur (zwykle systemy jednokanałowe) nie dotyczy rozważanie CCF (uszkodzenie o wspólnej przyczynie). Maksymalny osiągalny PL dla kategorii 1 wynosi  $PL = c$  (rys. 6).

**Druaga kategoria bezpieczeństwa**

Spełnienie wymagań drugiej kategorii bezpieczeństwa (rys. 4) zakłada konieczność spełnienia wymagań kategorii B i zastosowanie sprawdzonych zasad bezpieczeństwa oraz dodatkowo okresowego (we właściwych odstępach czasu) sprawdzania funkcji bezpieczeństwa przez system sterowania maszyny (okresowa autokontrola).

Urządzenia wchodzące w skład układu bezpieczeństwa muszą więc być wyposażone w opcję testowania poprawności funkcjonowania zarówno układu, jak i samych siebie, m.in.:

- podczas uruchamiania maszyny;
- przed wystąpieniem sytuacji zagrożenia (np.: rozpoczęcie nowego cyklu);
- okresowo w czasie pracy (ze względu na rodzaj pracy lub wyniki oceny ryzyka).

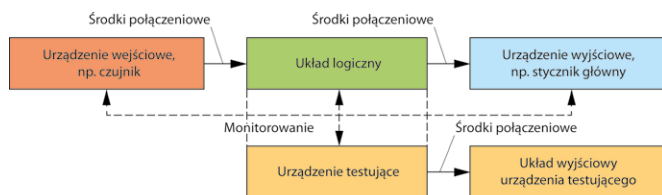
Kategoria ta dopuszcza wystąpienie defektu, który może spowodować utratę funkcji bezpieczeństwa między sprawdzeniami (wykrycie utraty funkcji następuje podczas sprawdzenia).

Pokrycie diagnostyczne ( $DC_{avg}$ ) kanału funkcjonalnego powinno być co najmniej niskie. MTTFD każdego kanału powinien być od niskiego do wysokiego, zależnie od wymaganego poziomu zapewnienia bezpieczeństwa (PLr). Należy zastosować środki zapobiegania CCF (norma PN-EN ISO 13849-1, Załącznik F). Maksymalny osiągalny PL dla kategorii 2 wynosi  $PL = d$  (rys. 6).

**Trzecia kategoria bezpieczeństwa**

Spełnienie wymagań trzeciej kategorii bezpieczeństwa (rys. 5) zakłada konieczność spełnienia wymagań kategorii B i zastosowanie sprawdzonych zasad bezpieczeństwa.

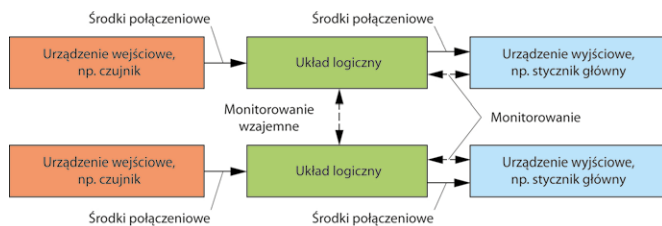
Elementy związane z bezpieczeństwem powinny być tak zaprojektowane, aby pojedynczy defekt w układzie bezpieczeństwa nie powodował utraty funkcji bezpieczeństwa danego



Liniami przerywanymi przedstawiono uzasadnione praktycznie wykrywanie defektów.

**Rys. 4.** Architektura układu bezpieczeństwa dla kategorii 2

(Źródło: norma PN-EN ISO 13849-1)



Liniami przerywanymi przedstawiono uzasadnione praktycznie wykrywanie defektów.

**Rys. 5.** Architektura układu bezpieczeństwa dla kategorii 3 i 4

(Źródło: norma PN-EN ISO 13849-1)

elementu oraz w uzasadnionych przypadkach powinien on być wykrywany natychmiast lub przed następnym przywołaniem funkcji bezpieczeństwa.

Kluczowa jest tu analiza efektów znaczących defektów, dla których istnieje wysokie prawdopodobieństwo utraty funkcji bezpieczeństwa. Obszary te muszą być monitorowane w celu wykrycia defektu co najmniej przed najbliższym w czasie wywołaniem funkcji bezpieczeństwa. Wobec powyższego należy się jednak spodziewać, że w szczególnym przypadku może nastąpić utrata funkcji bezpieczeństwa w wyniku nagromadzenia się defektów, jednak prawdopodobieństwo takiego zdarzenia jest oczywiście wielokrotnie niższe niż defektu pojedynczego. W projektowaniu układów bezpieczeństwa należy zatem przeprowadzić analizę w kierunku następstw ewentualnych uszkodzeń oraz prawdopodobieństwa ich wystąpienia.

Typowymi przykładami praktycznych działań zmierzających do wykrycia defektów jest wykorzystanie zwrotnej informacji z połączonych mechanicznie styków przekaźnika lub monitorowanie redundancyjnych wyjść elektrycznych.

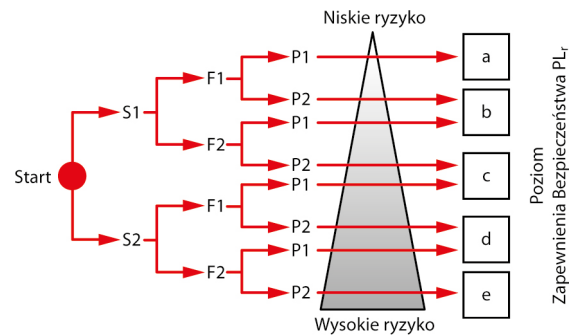
Pokrycie diagnostyczne (DCavg) całego SRP/CS (element systemu sterowania związany z bezpieczeństwem) powinno być co najmniej niskie. MTTFD każdego z redundantnych kanałów powinny być niskie do wysokich, zależnie od PLr. Należy zastosować środki zapobiegania CCF (norma PN-EN ISO 13849-1, Załącznik F).

#### Czwarta kategoria bezpieczeństwa

Spełnienie wymagań czwartej kategorii bezpieczeństwa zakłada konieczność spełnienia wymagań kategorii B i zastosowanie sprawdzonych zasad bezpieczeństwa.

Elementy związane z bezpieczeństwem powinny być tak zaprojektowane, aby:

- pojedynczy defekt w dowolnym elemencie nie powodował utraty funkcji bezpieczeństwa;
- pojedynczy defekt był wykrywany natychmiast lub przed następnym przywołaniem funkcji bezpieczeństwa;



Rys. 6. Schemat analizy ryzyka:

S – stopień groźby uszkodzenia ciała; S1 – uszkodzenie ciała z możliwością leczenia; S2 – uszkodzenie ciała bez możliwości leczenia lub śmierć; F – częstość i czas istnienia zagrożenia; F1 – rzadko, krótki czas narażenia; F2 – często, długi czas narażenia; P – możliwość uniknięcia zagrożenia; P1 – możliwe w specjalnych warunkach; P2 – raczej niemożliwe

(Źródło: norma PN-EN ISO 13849-1)

- ewentualne nagromadzenie się defektów nie powinno powodować utraty funkcji bezpieczeństwa.

Po wystąpieniu pojedynczego defektu funkcja bezpieczeństwa jest zawsze spełniona. W przypadku wielu błędów są one wykrywane w odpowiednim czasie, aby zapobiec utracie funkcji bezpieczeństwa (nagromadzenie niewykrytych defektów jest brane pod uwagę).

Pokrycie diagnostyczne (DCavg) całego SRP/CS powinno być wysokie, łącznie z nagromadzeniem defektów. MTTFD każdego z redundantnych kanałów powinien być wysoki. Należy zastosować środki zapobiegania CCF (norma PN-EN ISO 13849-1, Załącznik F). Różnica pomiędzy kategoriami 3 i 4 sprowadza się do tego, że w kategorii 4 jest wyższe pokrycie diagnostyczne (DCavg), a średni czas do uszkodzenia niebezpiecznego (MTTFD) każdego kanału jest „wysoki” (norma

PN-EN ISO 13849-1). Stąd architektura dedykowana do kategorii 4 jest zgodna z rysunkiem 5 (przedstawione na rys. 5 liniami przerywanymi pokrycie diagnostyczne jest wyższe niż w architekturze kategorii 3).

### Kategorie zatrzymania awaryjnego jako mechanizm kategorii bezpieczeństwa

Wymaganie danej kategorii bezpieczeństwa dla maszyny (norma PN-EN ISO 13849-1) wynika z analizy ryzyka (rys. 6), w której danymi wejściowymi są rodzaje zagrożeń, na jakie jest narażony operator obsługujący maszynę. Podczas przeprowadzania analizy ustala się potencjalną ciężkość urazów, częstość i czas narażenia oraz możliwość przeciwdziałania powstawaniu tych urazów. Wynikiem analizy jest poziom zapewnienia bezpieczeństwa (np. układem zatrzymania awaryjnego).

Implementację kategorii zatrzymania awaryjnego w maszynach szczególnie łatwo można zaobserwować w kontrolerach robotów przemysłowych, gdzie operator może programowo wpływać na sposób zatrzymania (kontrolowanego/niekontrolowanego) urządzenia dzięki odpowiedniemu skonfigurowaniu parametrów systemowych. Manipulatory robotów z uwagi na posiadane człony z osiami aktywnymi (wyposażone w układy napędowe) stanowią szczególne zagrożenie, gdyż w pewnych przypadkach napędy nawet po wyłączeniu zasilania mogą nie zatrzymać się natychmiast, co stwarza dodatkowe zagrożenie. Aby to zagrożenie wyeliminować lub zminimalizować, konieczne jest stosowanie układów awaryjnego zatrzymania (np. zatrzymanie awaryjne, nadrzędne, trybu automatycznego). W celu rozwiązania tego ważnego problemu w normie PN-EN 60204-1 zdefiniowano trzy typy stopu awaryjnego (kategorie zatrzymania). Parametrami bezpiecznego zatrzymania napędu w maszynie są: kategoria bezpieczeństwa i typ „stop”. Kategoria bezpieczeństwa określa niezawodność wykonania polecenia zatrzymania, natomiast typ „stop” sposób jego przeprowadzenia. Norma PN-EN 60204-1 wyróżnia trzy kategorie zatrzymania dla układów napędowych:

- zerowa kategoria zatrzymania awaryjnego (stop typu 0) – zatrzymanie niekontrolowane, przez bezzwłoczne odłączenie zasilania od napędów;
- pierwsza kategoria zatrzymania (stop typu 1) – zatrzymanie kontrolowane, przez odłączenie zasilania od napędów po uprzednim ich zatrzymaniu;
- druga kategoria zatrzymania (stop typu 2) – zatrzymanie kontrolowane z pozostawieniem zasilania napędów (w praktyce: zatrzymanie napędu lub przejście do zadanej prędkości bezpiecznej).

### Zerowa kategoria zatrzymania awaryjnego

Zatrzymanie zgodne z zerową kategorią zatrzymania awaryjnego następuje wtedy, gdy natychmiastowe wyłączenie zasilania nie powoduje dodatkowego zagrożenia, na przykład gdy napęd jest samohamowny. Oznacza to, że obciążenie ma naturę samohamowności (ma duży moment czynny oraz mały moment bezwładności).

Charakter obciążenia można zmodyfikować za pomocą dodatkowych urządzeń, takich jak hamulce, luzowniki, sprzęgła czy osłony stałe, które wprowadzone w skład układu

napędowego pozwalają na jego bezpieczne zatrzymanie. Urządzenia te muszą jednak spełniać wymagania dotyczące bezpieczeństwa maszyn.

Używając zatem hamulca bezpieczeństwa, możliwe jest awaryjne skokowe zwiększenie momentu oporowego, które może kompensować działanie momentu bezwładności.

### Pierwsza kategoria zatrzymania awaryjnego

Pierwszą kategorię zatrzymania awaryjnego należy stosować w przypadku, gdy awaryjne wyłączenie maszyny stwarza zagrożenie spowodowane niehamowanym wybiegiem. Konieczne jest wtedy wykonanie procedury hamowania dynamicznego (aktywnego) i dopiero później odłączenie zasilania.

### Druga kategoria zatrzymania awaryjnego

Druga kategoria zatrzymania awaryjnego jest przeznaczona do stosowania w układach, w których pozbawienie zasilania stwarzałoby dodatkowe zagrożenie. W takim przypadku należy również zapewnić zatrzymanie osi napędowych lub przejście do prędkości bezpiecznego „pełzania”. Niemniej jednak, gdy maszyna faktycznie się nie zatrzymuje, a dany napęd porusza się z prędkością, której wartość jest w danym przypadku uznana za bezpieczną, przede wszystkim należy wyeliminować możliwość niekontrolowanego przyspieszenia.

### Bezpieczeństwo w zrobotyzowanej komorze produkcyjnej

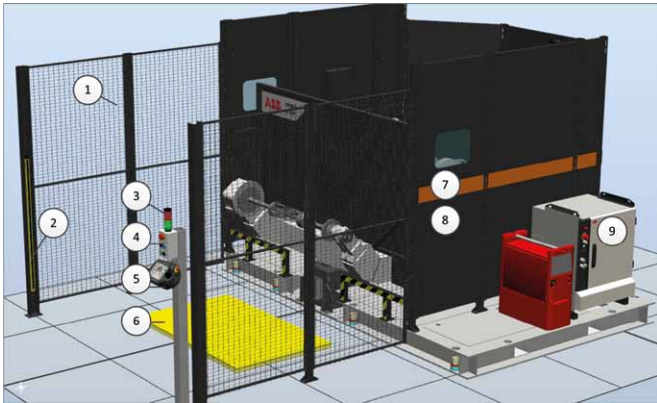
Bezpośredni kontakt personelu z robotem przemysłowym oraz urządzeniami wchodzącymi w skład zrobotyzowanej komory produkcyjnej może mieć miejsce w czasie programowania robota, podczas pracy robota (gdzie w jego zasięgu znajdzie się człowiek) oraz podczas napraw i konserwacji. Dlatego konieczne jest przestrzeganie obowiązujących zasad, do których zalicza się:

- zmniejszenie prędkości ruchu robota do 250 mm/s;
- uczenie robota w obecności dwóch osób (jedna z nich powinna mieć ciągły bezpośredni dostęp do przycisku bezpieczeństwa umożliwiającego zatrzymanie robota);
- widoczne odłączenie zasilania w czasie konserwacji i napraw;
- zakaz pominięcia elementów bezpieczeństwa, na przykład przez blokowanie wyłączników krańcowych;
- unikanie pośpiechu i niedbałości [I.14].

Ponadto zrobotyzowana komora produkcyjna powinna być odpowiednio przygotowana, aby zabezpieczyć ludzi obsługujących urządzenia wchodzące w jej skład, m.in. przez:

- bezpieczne rozmieszczenie współpracujących urządzeń (zapobieganie kolizji współpracujących urządzeń);
- wykluczenie przypadkowego wkroczenia obsługi w strefę zagrożenia;
- instalację przycisków stopu bezpieczeństwa w odpowiednich miejscach;
- oznakowanie stref niebezpiecznych;
- dobór pracowników pod względem kwalifikacji.

Pracownicy mający bezpośredni dostęp do robota powinni być sklasyfikowani (również przy użyciu systemu autoryzacji robota). Zazwyczaj stosuje się podział na:



Rys. 7. Przykład zrobotyzowanej celi spawalniczej z elementami systemu bezpieczeństwa: 1 – ogrodzenie; 2 – kurtyna świetlna; 3 – kolumna sygnalizacyjna; 4 – pulpit operatora z przyciskiem bezpieczeństwa; 5 – panel nauczania; 6 – mata bezpieczeństwa; 7 – bramka; 8 – wyłącznik pozycyjny; 9 – przekaźnik bezpieczeństwa zamontowany w szafie sterowniczej robota

- operatorów, którzy mają dostęp do włączania/wyłączania robota oraz uruchamiania programów robota, bez dostępu do wnętrza strefy ochronnej;
- programistów, którzy obsługują i programują robota, z dostępem do wnętrza strefy ochronnej;
- inżynierów utrzymania ruchu, którzy obsługują, programują i konserwują robota, z dostępem do wnętrza strefy ochronnej. Strefy ochronne dzieli się na poziomy:
- poziom 1: wykrywanie obecności człowieka na granicy stanowiska zrobotyzowanego;
- poziom 2: wykrywanie obecności człowieka w obszarze stanowiska;
- poziom 3: wykrywanie obecności człowieka podczas bezpośredniego kontaktu z robotem lub w niewielkiej odległości od ramienia robota.

Konfiguracja systemu bezpieczeństwa zrobotyzowanej komory produkcyjnej powinna być dostosowana do konkretnej aplikacji i najczęściej polega na podłączeniu różnego typu komponentów bezpieczeństwa (barier i kurtyn świetlnych, wyłączników, modułów, mat, skanerów, kamer, czujników itp.) przez przekaźnik bezpieczeństwa (np. uniwersalny przekaźnik bezpieczeństwa z rodziny G9SX firmy OMRON) do wejść bezpieczeństwa w kontrolerze robota (rys. 7). W przypadku bardzo rozbudowanych systemów do ich obsługi są stosowane sterowniki bezpieczeństwa (np. Flexi Soft firmy SICK).

Projekt systemu zrobotyzowanego (np. rys. 7) musi uwzględniać wymagania zawarte w normie EN ISO 10218 i w załączniku I do dyrektywy dotyczącej maszyn, a jego wyposażenie elektryczne musi być zgodne z normą EN60204-1. Oznacza to m.in., że jeżeli dojdzie do uszkodzenia systemu, pozostanie on bezpieczny (defekt kontrolowany). Ponadto konieczne jest zdefiniowanie strefy chronionej, składającej się ze strefy ograniczonego dostępu oraz dodatkowej, wynikającej z analizy oceny ryzyka. Dostęp do panelu operatora (zamieszczonego przed barierą bezpieczeństwa) nie może być w żaden

sposób ograniczony, a jego usytuowanie powinno zapewniać wykonanie wszystkich operacji bez ograniczenia widoczności stanowiska.

Wszystkie elementy stanowiska muszą być zamocowane na stabilnym podłożu (zwłaszcza robot) w takiej konfiguracji, aby istniała możliwość przeprowadzania przeglądów i konserwacji. W przypadku uruchamiania zrobotyzowanych stanowisk na ograniczonej przestrzeni, gdzie wymuszone jest zmniejszenie strefy ograniczonego dostępu, w robotach dopuszczone jest stosowanie – spełniających wszystkie normy bezpieczeństwa – mechanicznych i programowych ograniczników ruchu.

Odstępstwa od zachowania pełnych wymagań bezpieczeństwa (czas produkcji) są możliwe tylko w szczególnych przypadkach (np. uruchamianie, konserwacja, obsługa systemu), ale należy wówczas pamiętać o zachowaniu bezpiecznych procedur pracy.

W przypadku stanowisk w pełni zautomatyzowanych (czego przykładem są stanowiska do paletyzacji produktów) podstawowym elementem systemu bezpieczeństwa są najczęściej ogrodzenia z uwagi na możliwość bezpiecznego i jednoznacznego wydzielenia przestrzeni roboczej, do której wstęp jest zwykle możliwy przez bramkę mechaniczną (z blokadą bezpieczeństwa), lub przejście z kurtyną bezpieczeństwa. Na rysunku 8 przedstawiono jedno z dwóch zrobotyzowanych stanowisk do paletyzacji wiader o pojemnościach 3, 5, 10 i 15 l z dwóch linii rozlewniczych uruchomionych w Fabryce Farb

reklama

reklama



Rys. 8. Stanowisko z robotem Kawasaki ZD250 do paletyzacji wiader z farbą w Fabryce Farb i Lakierów Śnieżka SA w Lubzinie (Źródło: ASTOR)



Rys. 9. Montaż instrumentu pomiarowego gazomierza w Aparator Metrix SA (Źródło: FANUC)

i Lakierów Śnieżka SA w Lubzinie. Wybór aktualnie produkowanego asortymentu, sposób ułożenia wiader i przekładek został zrealizowany przez zastosowanie panelu operatorskiego z oprogramowaniem Wonderware InTouch.

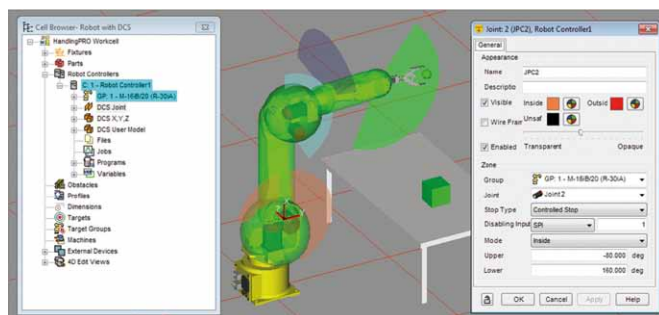
Inną grupę stanowią stanowiska montażowe, gdzie człowiek bezpośrednio współpracuje z robotem przemysłowym. Na rysunku 9 przedstawiono element linii produkcyjnej, na której robot precyzyjnie montuje membranę z 20 otworami o średnicy 3 mm na 20 trzpieni znajdujących się w korpusie baterii gazomierza.

W celu zapewnienia bezpieczeństwa personelu stanowisko zostało obudowane ogrodzeniem z pleksi. Na rysunku widać również dodatkowe elementy systemu bezpieczeństwa (m.in. przyciski STOPU, kurtyna bezpieczeństwa, kolumny sygnalizacyjne).

## Systemy bezpieczeństwa a systemy sterowania robotów przemysłowych

W ostatnim czasie można zaobserwować integrację systemów bezpieczeństwa z systemami sterowania robotów przemysłowych. Jej celem jest zastąpienie tradycyjnych systemów zabezpieczeń (m.in. osłon i ogrodzeń) w przyszłości, co pozwoli na pełną współpracę ludzi z maszynami, łatwiejsze projektowanie i programowanie zrobotyzowanych komór produkcyjnych oraz zwiększy elastyczność i wydajność produkcyjną. Odpowiedzialny za standaryzację norm bezpieczeństwa Komitet RIA (ang. *Robot Safety Standard Committee*) modyfikuje obecnie obowiązujące standardy w celu obniżenia kosztów i zwiększenia liczby funkcji bezpieczeństwa wbudowanych w roboty. Na rynku pojawiły się już tego typu systemy (np. Safe-Move firmy ABB, Safe Motion firmy COMAU, Dual Check Safety firmy FANUC – rys. 10, Cubic-S firmy Kawasaki, Safe Operation firmy KUKA), a jedną z ich dodatkowych cech jest integracja ze środowiskami do programowania robotów w trybie offline. Przykładem jest SafeMove (zintegrowany z kontrolerem IRC5 i składający się z kontrolera bezpieczeństwa DSQC 647 oraz dwóch 12- i dwóch 10-pionowych złączy), który daje się w pełni konfigurować w środowisku Robot Studio [I.14, II.3].

Systemy bezpieczeństwa nowego typu (w zależności od producenta) pozwalają m.in. na:

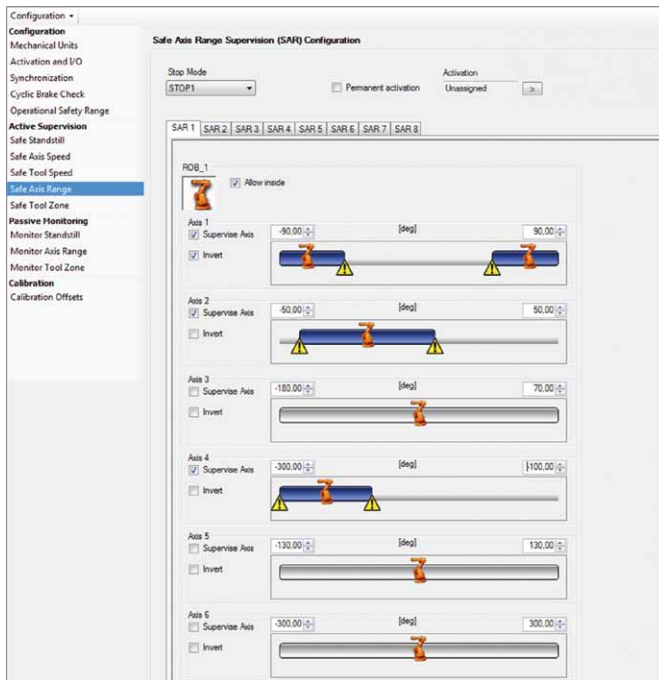


Rys. 10. Wizualizacja monitorowania osi robota w systemie DCS



Rys. 11. Monitorowanie obszaru pracy systemem Cubic-S firmy Kawasaki (praca robota dozwolona w strefie zielonej, zabroniona w strefie czerwonej) (Źródło: ASTOR)

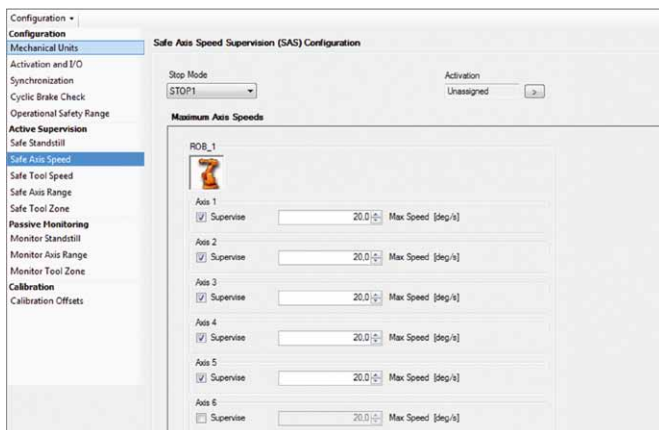
- monitorowanie obszaru pracy – funkcja pozwala ograniczyć obszar pracy robota w przestrzeni 3D (rys. 11); jeśli robot osiągnie zdefiniowaną granicę, zostaje automatycznie zatrzymany; funkcja może zostać indywidualnie włączona lub wyłączona, lub przypisana do wejść bezpieczeństwa, dzięki czemu możliwe jest zezwolenie lub zabronienie pracy robota w danym obszarze;
- monitorowanie pozycji osi – indywidualne monitorowanie każdej osi robota (rys. 12); możliwe jest określenie zakresów



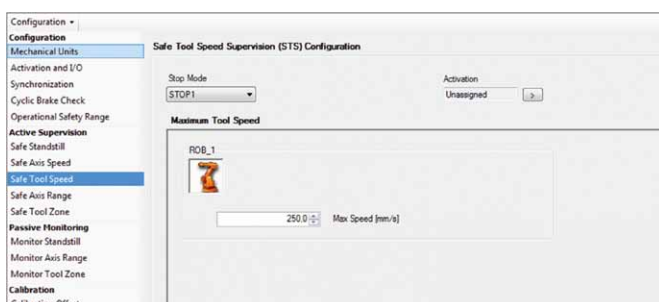
Rys. 12. Okno konfiguracji zakresu osi robota w systemie SafeMove

ruchu robota; jeśli robot opuści zdefiniowany zakres, zostanie automatycznie zatrzymany;

- monitorowanie prędkości – zatrzymanie robota, jeśli prędkość, z jaką się porusza, przekroczy wartość zadaną; pozwala na definiowanie prędkości poszczególnych osi robota (rys. 13) oraz punktu centralnego narzędzia (rys. 14);

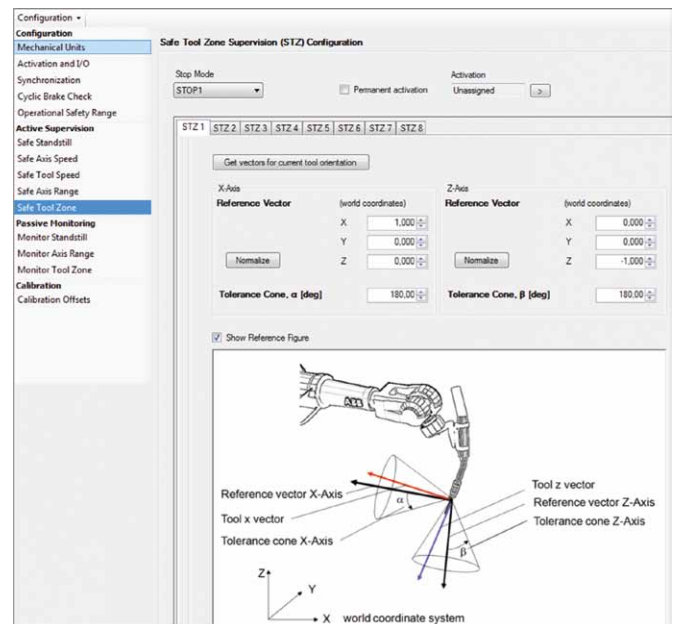


Rys. 13. Okno konfiguracji prędkości osi robota w systemie SafeMove



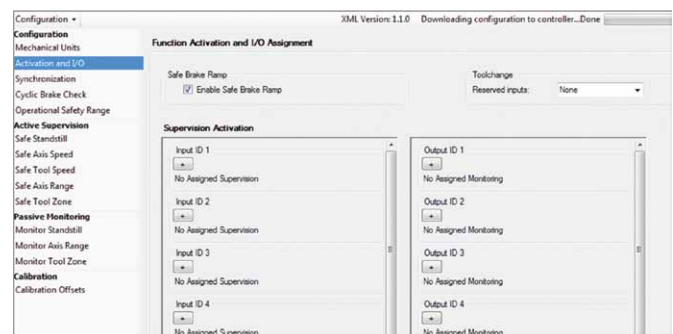
Rys. 14. Okno konfiguracji maksymalnej prędkości narzędzia w systemie SafeMove

- monitorowanie orientacji narzędzia – automatycznie zatrzymuje robota, jeśli orientacja narzędzia nie zgadza się z zadanymi warunkami (rys. 15);



Rys. 15. Okno konfiguracji orientacji narzędzia w systemie SafeMove

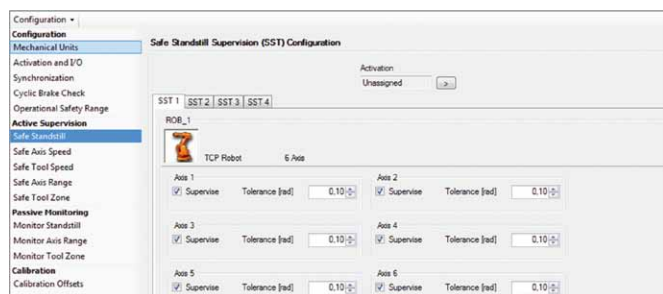
- wyjścia statusu bezpieczeństwa – pozwala ustawić wyjścia bezpieczeństwa w zależności od stanu poszczególnych funkcji systemu bezpieczeństwa oraz wejść bezpieczeństwa (rys. 16);



Rys. 16. Okno aktywacji wejść/wyjść w systemie SafeMove

- zatrzymanie warunkowe – funkcja jest sprzężona z elementami zewnętrznego systemu bezpieczeństwa (np. barierami bezpieczeństwa); może być włączana i wyłączana za pośrednictwem wejść bezpieczeństwa; pozwala uzyskać zatrzymanie w kategoriach 0, 1 i 2;
- monitorowanie stopu – pozwala monitorować zadany status osi robota; jeśli oś, która powinna być zatrzymana ze względu na bezpieczeństwo, ruszy (rys. 17), robot zostanie zatrzymany i wyłączony;
- zatrzymanie awaryjne – funkcja jest połączona z obwodem zatrzymania awaryjnego; zatrzymuje robota natychmiast po wciśnięciu przycisku awaryjnego zatrzymania.





Rys. 17. Okno aktywacji monitorowania stopu w systemie SafeMove

### Podsumowanie

Rozwój technologiczny oraz zmiany wizji fabryk przyszłości, głównie pod kątem bezpieczeństwa bezpośredniej współpracy człowieka z wysoko zaawansowanymi technologicznie maszynami, wymuszają wprowadzanie modyfikacji w istniejących dyrektywach lub zastępowanie ich nowymi. Najlepszym przykładem jest norma PN-EN 954-1 i jej nowy odpowiednik PN-EN ISO 13849-1 (Maszyny. Bezpieczeństwo. Elementy

systemów sterowania związane z bezpieczeństwem. Część 1: Ogólne zasady projektowania).

Zrobotyzowane stanowiska produkcyjne stanowią połączenie wielu współpracujących ze sobą urządzeń, dlatego zarówno producenci maszyn, jak i integratorzy zrobotyzowanych komór produkcyjnych powinni śledzić obowiązujące zmiany i na bieżąco przystosowywać oferowane rozwiązania. Pełna zgodność oferowanych produktów z nowymi normami (nawet w przypadku jednoczesnego funkcjonowania norm wcześniejszych) podnosi stopień bezpieczeństwa i zapewnia postrzeganie takich urządzeń/systemów przez odbiorców jako bardziej atrakcyjne i perspektywiczne. ■

Bibliografia dostępna pod linkiem: [nis.com.pl/bibliografia.html](http://nis.com.pl/bibliografia.html)

Fragment pochodzi z książki: W. Kaczmarek, J. Panasiuk, *Robotyzacja procesów produkcyjnych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2017