

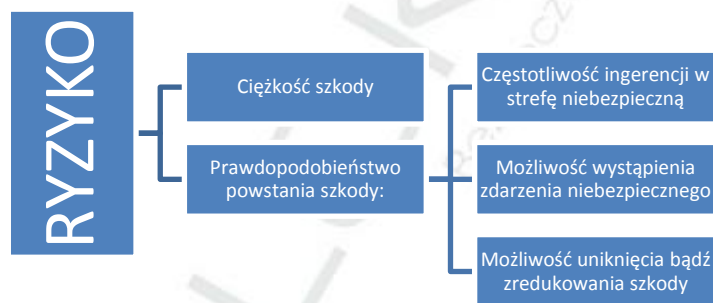
Industrial Monitor 2014 luty

Autorzy: Mgr inż. Krzysztof Ujczak
 Kierownik Działu Bezpieczeństwa Procesowego

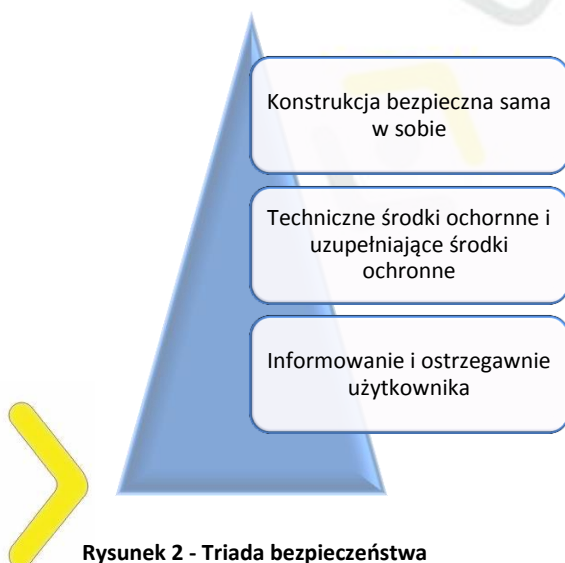
Redukcja ryzyka – ogólne zasady doboru środków detekcji ludzi w strefach zagrożenia

Ryzyko jest nieodłącznym elementem procesów produkcyjnych w każdym zakładzie przemysłowym. Jest ono kombinacją prawdopodobieństwa wystąpienia szkody i ciężkości tej szkody. W jaki sposób ograniczyć ryzyko a tym samym częstość zdarzeń wypadkowych i potencjalnie wypadkowych?

Norma PN-EN ISO 12100 w sposób kompleksowy (choć tylko na poziomie ogólnym) opisuje sposoby redukcji ryzyka. Redukcję tę możemy przeprowadzić oddziałując na jeden z parametrów, które je określa, czyli: ciężkość wystąpienia szkody lub prawdopodobieństwo jej wystąpienia. Norma PN-EN ISO 12100 opisuje szereg różnych rozwiązań mających za zadanie poprawę bezpieczeństwa pracy na maszynach (Rysunek 2 – Triada bezpieczeństwa).



Rysunek 1 -Ryzyko i sposoby zmniejszania ryzyka

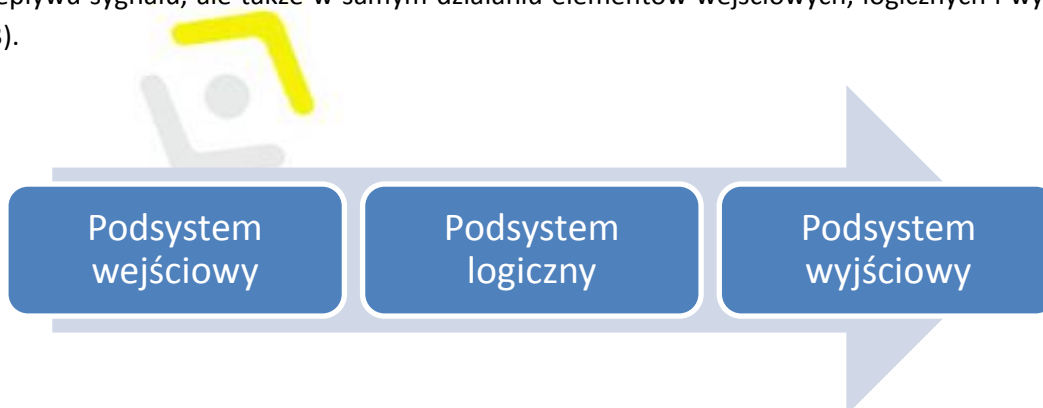


Rysunek 2 - Triada bezpieczeństwa

Aby zmniejszyć parametr ciężkości szkody musimy spełnić wymagania konstrukcji bezpiecznej samej w sobie. Termin ten odnosi się do kilku aspektów budowy maszyny, które należy przewidzieć już na etapie projektowym. Są to między innymi: ograniczenie energii niszczących występujących na maszynie (w tym energii elektrycznej czy potencjalnej) czy zapewnienie konstrukcji uniemożliwiających dostęp do stref niebezpiecznych (pamiętając o potrzebie czyszczenia i konserwacji). W większości przypadków, ze względu na charakter procesu takie działanie nie będzie możliwe do zrealizowania. Pozostaje więc, zarówno projektantom maszyn jak i ich użytkownikom druga możliwość, czyli zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia szkody. Aby tego dokonać skupimy się na dwóch aspektach projektowania systemów bezpieczeństwa. Po pierwsze - będzie to zaprojektowanie i realizacja odpowiedniego układu sterowania, po drugie - odpowiedni dobór i montaż technicznych środków ochronnych.

W celu doboru i zaprojektowania układu sterowania o odpowiednim poziomie niezawodności, skorzystamy z tzw. Performance level, czyli PL wg normy PN-EN ISO 13849. W skrócie, na PL składa się szereg parametrów jakościowych i ilościowych, związanych zarówno z architekturą układu sterowania jak i rodzajem samych elementów użytych w danym układzie. Aby nie zagłębiać się niepotrzebnie w zawłości tej normy, zwrócimy uwagę na kilka parametrów związanych z wyznaczeniem PL danej funkcji bezpieczeństwa, co będzie dalej potrzebne do m. in. odpowiedniego doboru środków detekcji ludzi w strefach zagrożenia.

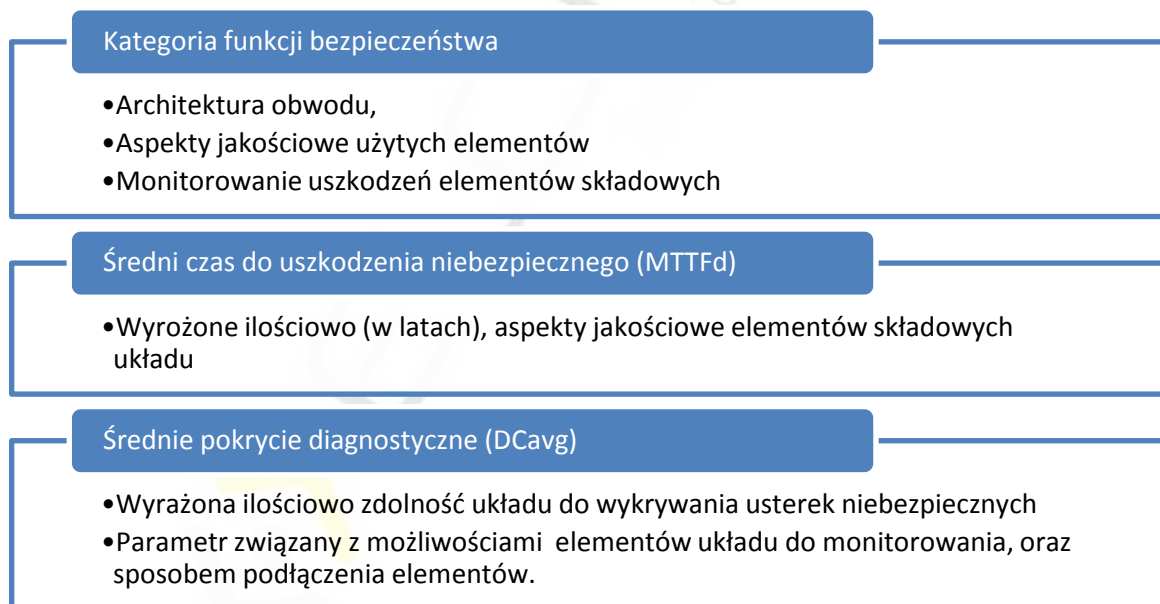
Pierwszym aspektem jaki należałoby tutaj przytoczyć są kategorie funkcji bezpieczeństwa. Jest to pojęcie związane bezpośrednio z architekturą układu. Pojawiają się tutaj terminy: redundancji (zwiększenia ilości elementów realizujących tę samą funkcję bezpieczeństwa), oraz monitorowania - czyli zdolności systemu do wykrywania własnych usterek. Definicja kategorii pojawiła się już w normie PN-EN 954 (która obowiązywała do początku 2012 roku), ale teraz dodatkowo zostały określone konkretne wymagania stawiane parametrom ilościowym, które muszą być spełnione przez każdą z pięciu kategorii układu sterowania. Na potrzeby rozważania doboru optymalnych środków detekcji ludzi skupimy się tylko na jedno-, bądź dwukanałowej (zredundowanej) budowie układów sterowania. Częstym błędem popełnianym przez projektantów jest utrata dwukanałowości na jednym z podsystemów funkcji bezpieczeństwa. Zapisy w normie mówią jednoznacznie. Aby były spełnione wymagania odporności na błędy układ musi być odporny na jedno, ale każde możliwe do przewidzenia, uszkodzenie. Może ono się pojawić zarówno na etapie przepływu sygnału, ale także w samym działaniu elementów wejściowych, logicznych i wyjściowych (Rysunek 3).



Rysunek 3 - Ideowy schemat układu sterowania

Drugim aspektem związanym z poprawnym projektowaniem układu sterowania jest dobór elementów o odpowiedniej wartości parametru określonego jako średni czas pomiędzy niebezpiecznymi uszkodzeniami $MTTF_d$ (Mean time to dangerous failure). Parametr ten jest związany z żywotnością i powinien być wyznaczony przez producenta urządzeń ochronnych. W normie PN-EN ISO 13849 są podane typowe wartości dla poszczególnych elementów, które mogą wchodzić w skład obwodu bezpieczeństwa. Przykładem może być wartość 150 lat dla wszystkich elementów hydraulicznych (pod warunkiem spełnienia kilku zasad zawartych w drugiej części normy). Minimalna wymagana wartość parametru $MTTF_d$ dla danych elementów będzie dobierana w zależności od częstości ingerencji w strefę niebezpieczną, a co za tym idzie częstości aktywowania urządzeń ochronnych.

Kolejnym i ostatnim parametrem jaki należy przeanalizować jest zdolność układu do wykrywania błędów. W normie PN-EN ISO 13849 jest ona określona poprzez średnie pokrycie diagnostyczne układu DC_{avg} (Diagnostic coverage average). Parametr ten jest zależny zarówno od architektury układu sterowania jak i od właściwości użytych w nim elementów. Przykładem monitorowania podsystemu wyjściowego będzie włączenie w obwód resetu przekaźnika bezpieczeństwa styku NC (styku lustrzanego) stycznika mocy odpowiadającego za załączanie zasilania napędu wykonawczego. Obecnie producenci prześcigają się w tworzeniu nowych rozwiązań związanych z polepszeniem wartości wskaźnika pokrycia diagnostycznego, w związku z tym wybór metody najlepszej, czy może lepiej - optymalnej, należy do użytkownika.

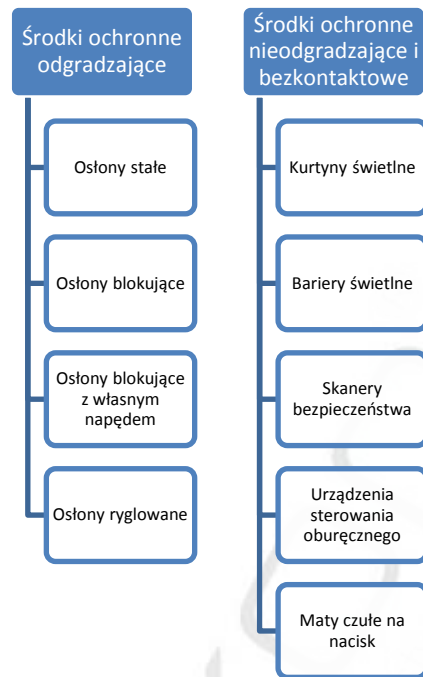


Rysunek 4 - Wybrane parametry wchodzące w skład Performance level (PL) wg PN-EN ISO 13849

Aby dokonać wyboru odpowiednich środków detekcji ludzi i nadzorowania dostępu do stref niebezpiecznych, należy każdorazowo przeprowadzić ocenę ryzyka pierwotnego w celu wyznaczenia wymaganej wysokości PL. W tym celu możemy posłużyć się różnymi metodami – również autorskimi. Mając na względzie wyznaczony PL „wymagany” (w skrócie PL_r) należy dodatkowo pamiętać o wzięciu pod uwagę szeregu aspektów związanych z samym procesem.

Pierwszym z nich jest rodzaj zagrożenia jaki występuje w danej strefie niebezpiecznej. Przykładowo przed zagrożeniem powodowanym wyrzuceniem materiału obrabianego, części narzędzia lub elementu maszyny ochroni nas osłona stała lub blokująca posiadająca odpowiednią odporność uderową. Nie możemy zastosować w takim przypadku urządzeń optoelektronicznych typu kurtyna świetlna bądź skaner laserowy. Nie zapewni nam wystarczającej ochrony również urządzenie sterowania oburęcznego ani urządzenia zezwolenia czy podtrzymania. Innym przykładem może być zagrożenie spowodowane emisją ciepła, gazów czy iskrzenia. Przed tego typu zagrożeniami również należy rozważyć użycie osłony która w sposób fizyczny odgrodzi nas od czynnika zagrażającego.

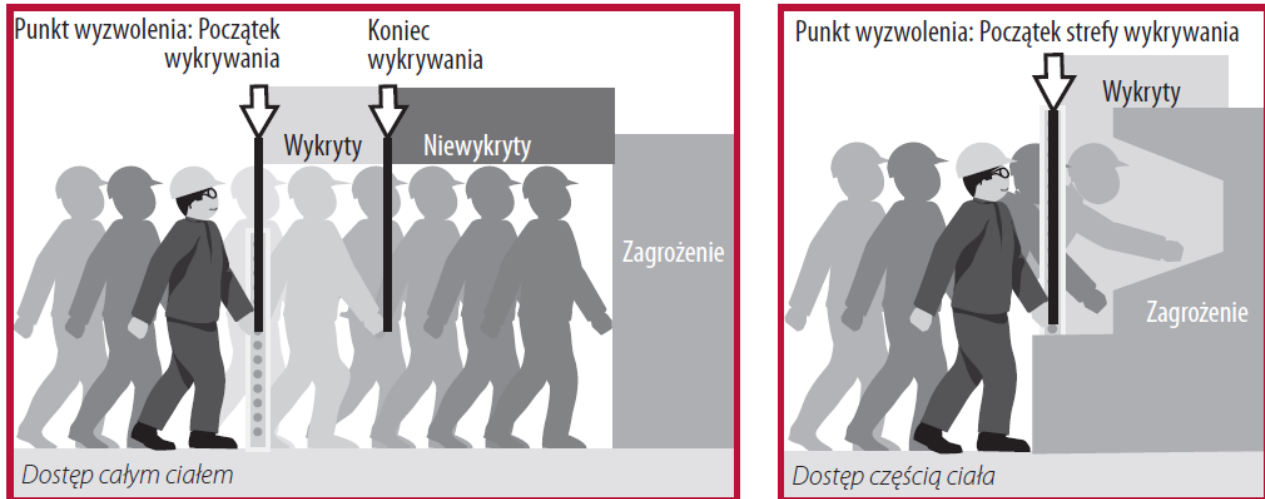
Kolejnym aspektem, który należy wziąć pod uwagę dokonując wyboru środków ochronnych jest częstość ingerencji i szybkość cyklu produkcyjnego. Poprawa bezpieczeństwa niestety dość często koliduje z wydajnością danej maszyny lub procesu. Dlatego też osoba projektująca układ bezpieczeństwa dla danej maszyny musi znaleźć „złoty środek” pomiędzy utrzymaniem wydajności na zadanym poziomie a kosztami implementacji układu bezpieczeństwa. Przykładowo: zastosowanie osłony stałej w miejscu, gdzie dostęp do strefy jest wymagany w czasie normalnej pracy maszyny będzie niepoprawne. Takie rozwiązanie może spowodować że osłona zostanie zdemontowana przez operatorów na stałe. W zależności od częstotliwości wymaganego dostępu możemy wybrać pomiędzy osłoną blokującą a np. kurtynami świetlnymi. I znów zastosowanie osłony blokującej w miejscu gdzie operator musi mieć dostęp ciągły, może go nakłonić do obejścia układu bezpieczeństwa poprzez np. zdemontowanie wyłącznika krańcowego lub odkręcenie i umieszczenie w wyłączniku drzwiowym klucza na stałe. Rozwiązaniem może tutaj być zastosowanie osłony blokującej z własnym napędem. Wtedy operator uruchamiając cykl będzie mógł np. przygotować kolejny detal do obróbki i umieszczenia go w strefie narzędziowej. Stosując osłony blokujące musimy zwrócić uwagę na rodzaj zastosowanego wyłącznika. Tam gdzie będzie on uruchamiany z dużą częstością być może warto będzie wziąć pod uwagę wyłączniki bezpieczeństwa magnetyczne – nie ulegają zużyciu mechanicznemu, a ich wytrzymałość elektryczna jest porównywalna do wyłączników rolkowych czy z kluczem.



Rysunek 5 - Klasyfikacja środków detekcji ludzi w strefach zagrożenia

Czas zatrzymania elementów niebezpiecznych jest kolejnym czynnikiem, który będzie miał istotny wpływ na wybór technicznych środków ochronnych. Napędy elektryczne takie jak silniki prądu przemiennego mogą posiadać dużą inercję a co się z tym wiąże ich dobieg, czyli czas zatrzymania, będzie duży. W takim wypadku powinniśmy rozważyć zastosowanie osłony z wyłącznikiem posiadającym funkcję ryglowania. Moment odryglowania osłony odgradzającej dostęp do strefy niebezpiecznej powinien być uzależniony od czasu zatrzymania maszyny. W niektórych przypadkach wystarczy funkcja czasowa, dobrana doświadczalnie dla najmniej korzystnego przypadku (napęd pracujący bez obciążenia będzie miał najprawdopodobniej najdłuższy czas zatrzymania), natomiast dla maszyn szczególnie niebezpiecznych może pojawić się potrzeba zastosowania elementów nadzorujących zatrzymanie napędu. Aby zmniejszyć czas zatrzymania maszyny możemy zastosować dodatkowe urządzenia hamujące, bądź rozsprężlające napęd od elementu wykonującego ruch niebezpieczny. Dla układów hydraulicznych bądź pneumatycznych, czas zatrzymania elementów niebezpiecznych będzie uzależniony w dużej mierze od struktury układu sterowania. W tym przypadku aby obniżyć czas zatrzymania aktuatorów może okazać się konieczne zastosowanie dodatkowych zaworów odcinających bądź hamulców na samym siłowniku.

Podsumowując, dla elementów o dużym czasie zatrzymania mamy do wyboru zastosowanie osłony ryglującej bądź ograniczenie czasu zatrzymania elementów niebezpiecznych. Przy maszynach których dobieg jest stosunkowo niewielki możemy zastosować np. kurtyny świetlne, skanery czy urządzenia sterowania oburęcznego. Tutaj musimy jednak liczyć się z aspektem związanym z odpowiednim umiejscowieniu urządzeń ochronnych. Z dystansowaniem urządzeń optoelektronicznych ma ogromny wpływ na bezpieczeństwo operatorów. Norma PN-EN ISO 13855 opisuje w jaki sposób należy wyznaczyć minimalną odległość dystansowania wyposażenia ochronnego od strefy niebezpiecznej w zależności od prędkości zbliżania się części ciała człowieka. Ma ona zastosowanie zarówno dla urządzeń optoelektronicznych jak i dla innych, np. pulpitu sterowania oburęcznego czy zwykłych osłon blokujących.



Rysunek 6 - Ilustracja skutków braku nadzorowania strefy pozostawania pomiędzy kurtyną świetlną a strefą zagrożenia. Źródło: Safebook 4 firmy Rockwell Automation

Obliczając i dobierając odpowiednią wartość odległości na jaką muszą być zdystansowane urządzenia ochronne należy dodatkowo pamiętać o tym aby zadbać o nadzorowanie strefy niebezpiecznej. Na Rysunku 6 pokazana jest sytuacja, która może doprowadzić do tragicznego w skutkach niezamierzonego wystawienia ruchu maszyny podczas gdy człowiek przebywa w strefie pozostawania pomiędzy kurtyną świetlną a obszarem w którym występuje zagrożenie. W celu nadzorowania strefy niebezpiecznej można wprowadzić dodatkowe urządzenia wykrywające obecność człowieka w danej strefie. Mogą to być kurtyny świetlne lub skaner laserowy, których płaszczyzna wykrywania będzie w orientacji poziomej, bądź skośnej, a także np. maty czułe na nacisk. W niektórych przypadkach problem pozostawania w strefie niebezpiecznej można w stosunkowo prosty sposób rozwiązać. Tam gdzie można zastosować reset w postaci przycisku uruchamianego ręcznie, należy zadbać o to aby był on umieszczony w miejscu, z którego operator będzie miał pełny wgląd w strefę niebezpieczną.

Gdy uda nam się określić odpowiednie założenia dla danego układu bezpieczeństwa związane z wyżej wymienionymi aspektami, możemy przystąpić do doboru odpowiednich środków detekcji ludzi w strefach zagrożenia. Chcąc osiągnąć układ dwukanałowy powinniśmy użyć zdwojonych elementów podsystemów wejściowych, logicznych i wyjściowych. Na szczęście producenci układów logiki bezpieczeństwa zadbali o to aby struktura tych podzespołów została zdwojona wewnętrznie. Oznacza to, że w przypadku przekaźników bezpieczeństwa powinny być zaimplementowane dwa układy scalone dokonujące tych samych operacji logicznych oraz trzeci porównujący ich wyniki. W sterownikach bezpieczeństwa powinny znajdować się dwa procesory wykonujące te same obliczenia (najlepiej by było gdyby pochodziły one od dwóch różnych producentów, lub przynajmniej z dwóch różnych partii produkcyjnych), oraz komparator. Dzięki takiemu rozwiązaniu ograniczamy użytą przestrzeń w szafach sterowniczych i nie musimy się zastanawiać nad realizacją zdwojonego układu logicznego. Sprawa wygląda trochę inaczej jeżeli chodzi o podsystemy wejściowe. Tutaj znowu zgodnie z zasadą odporności na pojedynczy defekt musimy zapewnić redundancję czujników bezpieczeństwa.

Na ratunek przychodzi nam termin wykluczenia błędu (fault exclusion) w PN-EN ISO 13849. W drugiej części tej normy opisane są istotne błędy i uszkodzenia na jakie narażone mogą być elementy wchodzące w skład łańcucha bezpieczeństwa. Podane są też zasady przy spełnieniu których możemy założyć że prawdopodobieństwo uszkodzenia danego elementu będzie dostatecznie małe – takie, że możemy je pominąć. Dla komponentów powszechnie stosowanych określenie prawdopodobieństwa wystąpienia określonego błędu jest łatwe. Dla elementów nowych, aby wziąć pod uwagę wszystkie możliwe wystąpić błędy należałoby przeprowadzić np. analizę rodzajów i skutków możliwych uszkodzeń FMEA.

Stosując zasadę wykluczenia błędu możemy w miejsce dwóch czujników na osłonie, której funkcja bezpieczeństwa musi zostać zrealizowana dwukanałowo umieścić jeden - pod warunkiem, że producent zagwarantuje niewystąpienie (zastosuje zasadę wykluczenia błędu) uszkodzenia takiego czujnika. Z tego wynika też umieszczanie w wyłącznikach krańcowych bezpieczeństwa minimum dwóch styków. Wykluczone zostaje uszkodzenie mechaniczne, ale nie elektryczne – zwarcie międzykanałowe, lub do obcego potencjału nadal stanowią błąd, którego prawdopodobieństwa wystąpienia nie możemy wykluczyć.

Pozostaje jeszcze kwestia ostatnia – podsystem wyjściowy gdzie realizacja dwukanałowości jest często najbardziej skomplikowana. Czasami wystarczy zdwojenie elementów obwodów mocy, takich jak styczniki lub zawory sterujące, ale w niektórych przypadkach sprawa może nie być taka prosta. Rozważając napędy bardziej skomplikowane, takie jak falowniki czy serwonapędy – tutaj redundancja może być trudniejsza a czasami nawet niemożliwa do zrealizowania. Na szczęście producenci serwonapędów i sterowników silników coraz częściej sprzedają układy w których dwukanałowość została zrealizowana wewnątrz.

Podsumowując, aby ograniczyć ryzyko i częstotliwość zdarzeń wypadkowych i potencjalnie wypadkowych, należy zwrócić szczególną uwagę na dobór odpowiednich środków detekcji ludzi w strefach zagrożenia. Dobór ten powinien być podyktowany wymaganiami odpowiedniego Performance level, a co za tym idzie kategorią układu sterowania, ale także charakterem samego procesu.

Bibliografia:

- Norma PN-EN ISO 12100 „Bezpieczeństwo maszyn; Ogólne zasady projektowania; Ocena ryzyka i zmniejszanie ryzyka”
- Norma PN-EN 1088 „Maszyny. Bezpieczeństwo; Urządzenia blokujące sprzężone z osłonami”
- Norma PN-EN ISO 13855 „Bezpieczeństwo maszyn – Umiejscowienie wyposażenia ochronnego ze względu na prędkości zbliżania części ciała człowieka”
- Norma PN-EN ISO 13857 „Bezpieczeństwa maszyn; Odległości bezpieczeństwa uniemożliwiające sięganie kończynami górnymi i dolnymi do stref niebezpiecznych”

