Robot w zintegrowanym środowisku produkcyjnym. Maszyny zespolone

Międzynarodowa Federacja Robotyki (IFR) podaje, że rok 2013 przyniósł największą w historii sprzedaż robotów przemysłowych. Sprzedaż osiągnęła poziom prawie 180 tys. robotów (jednostek), co daje 12-procentowy wzrost sprzedaży rok do roku. Po podsumowaniu dwóch kwartałów 2014 r. przewidywania sprzedaży to również dwucyfrowy wzrost w roku, czyli ok. 205 tys. jednostek.

TOMASZ OTRĘBSKI
kierownik Regionu Południe, specjalista ds. inżynierii bezpieczeństwa maszyn i procesów
ELOKON Polska Sp. z o.o.
www.elokon.pl

Głównym obszarem instalacji systemów zrobotyzowanych jest przemysł samochodowy, który mocno inwestuje w takie instalacje. W latach 2015–2017 poziom wzrostu ma być utrzymany na poziomie 12% rocznie, co w roku 2017 może dać roczną sprzedaż ok. 300 tys. jednostek na świecie. Aspekty, które sprzyjają implementacji systemów zrobotyzowanych w przemyśle, są następujące:

- globalna konkurencja wymaga ciągłych modernizacji fabryk i ich automatyzację,
- wdrażanie programów oszczędności energii oraz stosowanie nowych materiałów wymaga przezbrojenia i rekonfiguracji produkcji,
- roboty kolaboracyjne mogące współpracować z człowiekiem stają się coraz popularniejsze,
- rosnące rynki wymagają zwiększenia możliwości produkcyjnych,
- zmniejszenie czasu życia produktów i ich różnorodność wymaga dużej elastyczności produkcji i jej automatyzacji,
- ciągły rozwój techniki robotyzacji zmniejsza koszty implementacji rozwiązań z wykorzystaniem robotów, umożliwiając ich zastosowanie w średnich i małych zakładach,

Fot. Fotolia

- specjalistyczne systemy zrobotyzowane umożliwiają osiągniecie wysokiej jakości produkcji,
- poprawa warunków pracy człowieka – ludzie zastępowani są przez roboty tam, gdzie praca może być niebezpieczna, ciężka i w trudnych warunkach środowiskowych.

Wszystko więc wskazuje na to, że nic nie jest w stanie zaszkodzić wzrostowi sprzedaży robotów, a wręcz przeciwnie – realna sprzedaż może przekroczyć wartości z prognoz.

Wymagania formalnoprawne dla integratorów. Maszyny zespolone

Pojedynczy robot, zakupiony w celu późniejszej integracji przy budowie stanowiska lub linii technologicznej, jest maszyną nieukończoną. Zgodnie z dyrektywą maszynową 2006/42/WE mamy zagwarantowany swobodny przepływ maszyn nieukończonych, dla których wymagania dyrektywy nie mają w całości zastosowania. Dokumenty towarzyszące, jakie musimy posiadać przy zakupie robota, to deklaracja włączenia i instrukcja montażu. Deklaracja włączenia musi zawierać następujące dane:

- nazwę firmy i pełny adres producenta maszyny nieukończonej, a w stosownych przypadkach jego upoważnionego przedstawiciela,
- nazwisko i adres osoby mającej miejsce zamieszkania lub siedzibę we Wspólnocie, upoważnionej do przygotowania odpowiedniej dokumentacji technicznej,
- opis i identyfikację maszyny nieukończonej, w tym ogólne określenie, funkcje, model, typ, numer seryjny i nazwę handlową,
- zdanie zawierające oświadczenie, które z zasadniczych wymagań niniejszej dyrektywy są stosowane i spełniane oraz że przygotowano odpowiednią dokumentację techniczną zgodnie z załącznikiem VII część B dyrektywy maszynowej 2006/42/WE, a w stosownych przypadkach zdanie zawierające oświadczenie o zgodności maszyny nieukończonej z innymi dyrektywami wspólnotowymi. Odniesienia te muszą być odniesieniami do tekstów opublikowanych w Dzienniku Urzędowym Unii Europejskiej,
- zobowiązanie do przekazania, na uzasadniony wniosek władz krajowych, odpowiednich informacji na temat maszyny nieukończonej. Zobowiązanie obejmuje metodę przekazania i nie narusza praw własności intelektualnej producenta do maszyny nieukończonej,
- oświadczenie, że maszyna nieukończona nie może zostać oddana do użytku do momentu, gdy maszyna finalna, do której ma zostać wbudowana, uzyska deklarację zgodności z przepisami dyrektywy maszynowej 2006/42/WE, jeżeli jest to właściwe,
- miejsce i datę złożenia deklaracji,
- tożsamość i podpis osoby upoważnionej do sporządzenia deklaracji w imieniu producenta lub jego upoważnionego przedstawiciela.

Integrator powinien zadbać, aby zakupiony robot miał poprawnie opracowaną deklarację włączenia. Jest to o tyle ważne, że w procesie integracji maszyna nieukończona stanie się częścią maszyny zespolonej, za którą w całości odpowiedzialność ponosi integrator. Robot jako maszyna nieukończona nie ma oznakowania CE. Aby poprawnie wykonać integrację robota z pozostałymi maszynami, trzeba posłużyć się instrukcją montażu, która musi być dostarczona wraz z robotem. W instrukcji montażu muszą być opisane wszystkie warunki, które należy spełnić, aby włączyć maszynę nieukończoną do maszyny finalnej. Zawsze należy sprawdzić, czy instrukcja montażu zawiera niezbędne informacje, które umożliwią integrację według założonych wytycznych w projekcie opracowanym przez integratora, czyli producenta maszyny finalnej – zespolonej. Zawsze, kiedy kupujemy robota, a następnie w procesie integracji budujemy nową maszynę zespoloną, stajemy się producentem nowo powstałej maszyny zespolonej. Maszyna zespolona może składać się z maszyn nieukończonych, takich jak roboty przemysłowe, oraz maszyn oznakowanych CE i spełniających wymagania zasadnicze dyrektywy maszynowej. Cały proces integracji lub zespalania maszyn – w przypadku wykorzystywania maszyn nowych – jest niczym innym, jak budo-

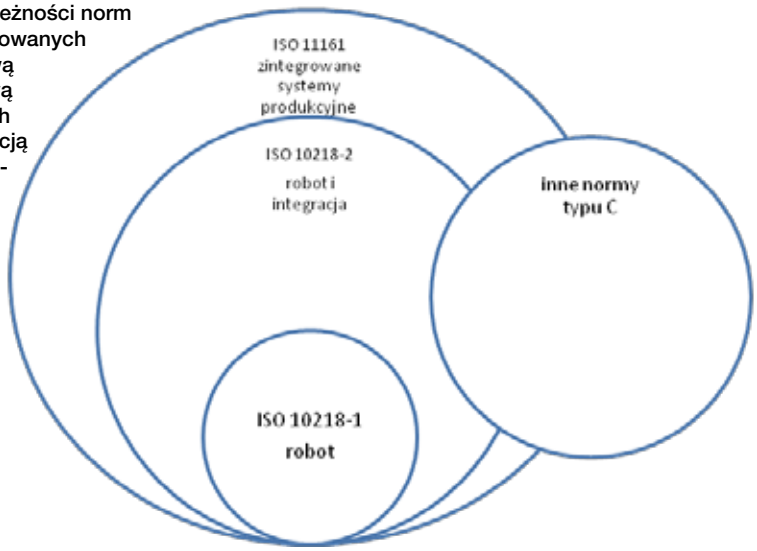
Tomasz Otrębski

Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Zatrudniony w Elokon Polska na stanowisku kierownika Regionu Południe. Specjalista ds. inżynierii bezpieczeństwa maszyn i procesów. Ma ponad 13-letnie doświadczenie jako projektant systemów sterowania i zasilania w obszarze maszynowym. Jest specjalistą ds. automatyki i bezpieczeństwa maszyn. Trener i wykładowca od 2003 r. Prowadzi szkolenia z budowy systemów sterowania oraz z systemów sterowania związanych z bezpieczeństwem. Specjalizuje się w projektowaniu systemów sterowania związanych z bezpieczeństwem, budowie i programowaniu rozproszonych systemów sterowania związanych z bezpieczeństwem, implementacji wymagań dyrektywy maszynowej 2006/42/WE oraz narzędziowej 2009/104/WE do układów sterowania maszyn oraz budową bezpiecznych maszyn i linii produkcyjnych wraz z automatyzacją produkcji. Szkolił oraz wykładał m.in. dla: Fiat Auto Poland, Opel Gliwice – Grupa GM, Philips Lighting, Rockwool Engineering, Magna Cosma Gruppe, Kirchhoff Polska, Eaton Automotive, Faurecia Automotive, Państwowej Wytwórni Papierów Wartościowych. Prowadził szkolenia dla Państwowej Inspekcji Pracy. Przeprowadzał audyty i doradzał producentom maszyn w Europie, Azji i USA. Ma referencje okręgowego PIP z Katowic. Publikował swoje artykuły w „Control Engineering", „Industrial Monitor", „SUR" oraz „Napędy i Sterowanie".

wą nowej maszyny zespolonej – często potem nazywanej linią produkcyjną. Integrator odgrywa w tym procesie bardzo ważna rolę i spoczywa na nim bardzo duża odpowiedzialność za efekt końcowy – za bezpieczeństwo, jakie musi gwarantować finalny produkt, czyli maszyna zespolona, po integracji wszystkich elementów składowych. Integrator nie będzie nikim innym, jak producentem zespołu maszyn i jako producent musi:

- przeprowadzić procedurę zgodności (według artykułu 12 dyrektywy maszynowej 2006/42/WE),
- oznakować w określony sposób opisany w dyrektywie maszynowej (w sekcji 1.7.3 oraz, w stosownych przypadkach, w sekcjach 3.6.2, 4.3.3 i 6.5

Rys. 1. Zależności norm zharmonizowanych z dyrektywą maszynową związanych z robotyzacją i automatyzacją

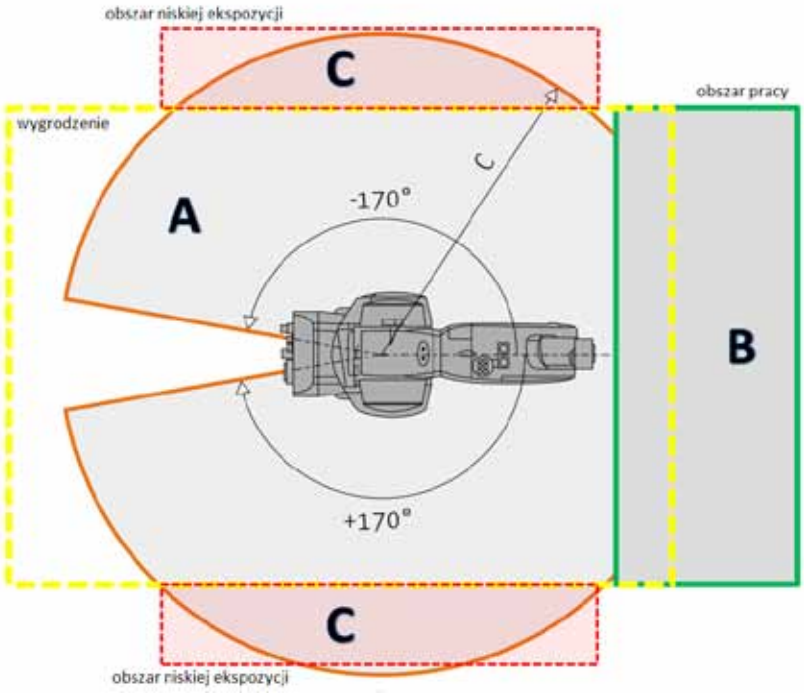


załącznika I), w tym oznakować znakiem CE,
- sporządzić i podpisać deklaracje WE, która potwierdza zgodność maszyny z wymaganiami dyrektywy maszynowej 2006/42/WE.

Obowiązkiem integratora jest również przygotowanie odpowiedniej dokumentacji technicznej maszyny zgodnie z wymaganiami dyrektywy jak dla nowej maszyny (załącznik VII, sekcja A, punkt 1), w której skład będą wchodzić dostępne dokumentacje dla maszyn składowych, wraz z ich deklaracjami zgodności lub włączenia oraz instrukcjami lub instrukcjami montażu. Integrator musi również opisać zmiany w jednostkach składowych, jakie wprowadził w procesie integracji.

Kluczowym aspektem w całym procesie integracji jest poprawna ocena ryzyka dla finalnej maszyny zespolonej. Jest to również jeden z elementów dokumentacji technicznej maszyny. Budowanie linii produkcyjnej, innymi słowy zespalanie wielu maszyn w całość w celu spełnienia wspólnej funkcji, zmusza integratora do zbudowania wspólnego systemu sterowania wraz z systemem odpowiedzialnym za bezpieczeństwo. Aby poprawnie dobrać środki bezpieczeństwa i zaprojektować dla nich odpowiednie funkcje bezpieczeństwa, musimy wykonać inżynierską ocenę ryzyka, która będzie wyznacznikiem w poprawnym doborze i określeniu cech urządzeń ochronnych, tak aby zapewnić im wystarczającą skuteczność, a tym samym bezpieczeństwo pracujących ludzi.

Opisany powyżej proces integracji wykorzystuje nowe maszyny lub nowe maszyny nieukończone. Jak wiemy, w procesie automatyzacji, np. z wykorzystaniem robotów, często użytkuje się już istniejące maszyny, czasami wiekowe i wtedy kwestie formalne nie są już tak oczywiste. Wymagania dyrektywy maszynowej odnoszą się do maszyn nowych, po raz pierwszy wprowadzanych do obrotu oraz oddawanych do użytku we Wspólnocie Europejskiej. Co więc zrobić, jeśli w naszym zespole są maszyny już użytkowane? Każda eksploatowana maszyna musi spełniać wymagania dyrektywy narzędziowej 2009/104/WE, wdrożonej przez krajowe przepisy. W Polsce dyrektywę narzędziową wdraża rozporządzenie w sprawie minimalnych wymagań. Pracodawca jest odpowiedzialny za utrzymanie maszyn w zdatności i zapewnienie bezpieczeństwa maszyn podczas ich użytkowania. Zobligowany jest również do posiadania aktualnej oceny ryzyka, oceniającej poprawność doboru środków ochronnych. W związku z tym, że nie jest możliwe (poradnik do dyrektywy maszynowej) podanie dokładnych kryteriów umożliwiających ocenę, czy zespół składający się z maszyn nowych i maszyn starych (już użytkowanych) objęty jest zakresem stosowania dyrektywy maszynowej, musimy być ostrożni podczas integracji takich maszyn. Autorzy poradnika do dyrektywy maszynowej podają wytyczne, które mogą być przydatne w ocenie sytuacji. Opierają oni swoje podejście na poziomie wpływu na funkcjonowanie i bezpieczeństwo nowo powstałego zespołu po procesie integracji (zespolenia). Jeżeli ocenimy, że dołożenie nowej jednostki do istniejącej maszyny lub zespołu maszyn nie wpływa znacząco na funkcjonalność i bezpieczeństwo, nie musimy podejmować kroków jak dla nowych maszyn. Tylko w odniesieniu do nowej jednostki, którą dokładamy do zespołu, musimy spełnić wymagania zasadnicze zawarte w dyrektywie maszynowej, pozostała część zespołu jest objęta wymaganiami związanymi z bezpieczną eksploatacją opisanymi w krajowych przepisach wdrażających dyrektywę narzędziową, obecnie 2009/104/WE. Jeżeli dołożenie lub wymiana jednostek składowych w procesie integracji ma znaczący wpływ na funkcjonowanie i bezpieczeństwo całego zespołu, możemy uznać, że zbudowaliśmy nową maszynę (maszynę zespoloną). Proces taki będzie całkowicie podlegał wymaganiom dyrektywy maszynowej. Finalnie cały zespół, jak również każda z maszyn jednostkowych wchodzących w skład, muszą spełniać wymagania zasadnicze dyrektywy maszynowej 2006/42/WE.



Rys. 2. Obszar pracy robota. Przestrzeń zamknięta wygrodzeniem w relacji do zasięgu robota

Robot i wymagane środki ochronne

Roboty przemysłowe charakteryzują się dużą dynamiką pracy, a co za tym idzie – dużymi energiami. Tam gdzie występują duże energie, zagrożenia też są duże. W procesie automatyzacji produkcji z wykorzystaniem robotów stajemy przed sporym wyzwaniem związanym nie tylko z funkcjami czysto technologicznymi, ale również powiązanym z zapewnieniem odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa pracy w trakcie normalnej eksploatacji maszyny lub linii produkcyjnej wykorzystującej roboty.

Podstawowym dokumentem technicznym opisującym wymagania bezpieczeństwa dla robotów przemysłowych jest dwuczęściowa międzynarodowa norma PN EN ISO 10218. Część pierwsza normy odnosi się do wymagań stawianych robotowi jako jednostce, natomiast w części drugiej opisane są wymagania podczas integracji robotów i systemów zrobotyzowanych w linie produkcyjne.

Budując zrobotyzowane systemy produkcyjne, warto zapoznać się z normą PN EN ISO 11161 opisującą wymagania bezpieczeństwa dla zintegrowanych systemów produkcyjnych. Oczywiście linia, którą będziemy chcieli zbudować, może składać się też z innych maszyn, które mogą posiadać normy typu C – podające wymagania dla tych konkretnych maszyn (np. PN EN 693 wymagania

bezpieczeństwa dla pras hydraulicznych). Wtedy należy zapoznać się z tymi szczegółowymi wytycznymi, które są nadrzędne w stosunku do informacji zawartych w normach typu B.

Pierwszym krokiem, jaki należy wykonać, projektując zrobotyzowane i zintegrowane systemy produkcyjne, jest ocena ryzyka. Im system produkcyjny jest bardziej skompilowany, tym trudniej jest wykonać poprawną ocenę ryzyka. W złożonych systemach produkcyjnych i rozbudowanych liniach produkcyjnych zastosowanych jest wiele różnych środków ochrony. Wiele z nich jest bezpośrednio powiązanych z systemem sterowania odpowiedzialnym za bezpieczeństwo i wzajemnie logicznie uzależnionych. Algorytmy, choć z zasady dla bezpieczeństwa maszynowego binarne (logika zero-jedynkowa), mogą przy rozbudowanych systemach decentralnych być bardzo skomplikowane. Opanowanie tego problemu, poprawne zaprojektowanie i zaprogramowanie systemu sterowania jest dużym wyzwaniem, nawet dla bardzo doświadczonych specjalistów. Wkład do projektu systemu sterowania, jakim są wytyczne z oceny ryzyka, jest bardzo ważny. Niezawodność zaprojektowanego systemu bezpośrednio przekłada się na bezpieczeństwo pracujących ludzi. Mając wyniki oceny ryzyka, możemy przejść do projektowania systemu sterowania, odpowiednio dobrać środki ochronne, zastosować odpowiednie funkcje bezpieczeństwa, pamiętając o funkcjonalności maszyny lub linii produkcyjnej. Należy pamiętać również o integralności i spójności w działaniu całej linii czy też maszyny zespolonej, szczególnie jeśli ma to wpływ na bezpieczeństwo.

Powoływane wcześniej normy prowadzą projektanta czy integratora krok po kroku, począwszy od oceny ryzyka poprzez dobór odpowiednich środków ochronnych. Norma PN EN ISO 102018 podaje również podstawowe cechy urządzeń ochronnych, jakie powinny być instalowane w celu minimalizacji ryzyka w obszarach zrobotyzowanych. Poziom niezawodności, jaki wymagany jest przez normę, to wartość Cat3 PL d zgodnie z PN EN ISO 13849-1. Wartość ta w zasadniczy sposób określa niezawodność dla funkcji bezpieczeństwa, które chcemy zastosować w środowisku zrobotyzowanym.

Podczas projektowania i budowania systemów produkcyjnych z wykorzystaniem robotów należy wziąć pod uwagę wiele aspektów, ja chciałbym zwrócić uwagę na dwa, z którymi często w praktyce integratorzy mają problem.

1. Jak wcześniej wspomniano, robot jest sprzedawany jako maszyna nieukończona. Integrator, aby poprawnie zainstalować robota lub zintegrować z innymi maszynami, musi posłużyć się instrukcją dostarczaną przez producenta. W przypadku maszyn nieukończonych wytyczne związane z bezpieczeństwem znajdziemy w instrukcji montażu. W praktyce, znając założenia projektowe, musimy dokonać wyboru odpowiedniego robota. Często projektanci skupiają się na wyborze samego robota jako zespołu serwonapędów zdolnych wykonać pewną zamierzoną pracę, zapominając o systemie sterowania dostarczanym razem z robotem. Szafy sterownicze robotów, zwane też kontrolerami, mogą się różnić w zależności od opcji, jakiej potrzebujemy i wybierzemy. Zazwyczaj kontrolery z zaawansowanymi funkcjami związanymi z bezpieczeństwem są droższe, ale dają większe możliwości funkcjonalne. Zły wybór na początku może skutkować dużymi ograniczeniami w funkcjonowaniu robota w praktyce. Bardzo ważne jest, aby w sposób przemyślany decydować o wyborze wersji systemu sterowania dla robota, tak aby móc sprostać wszystkim wymaganiom funkcjonalnym.

Często projektanci skupiają się na wyborze samego robota jako zespołu serwonapędów zdolnych wykonać pewną zamierzoną pracę, zapominając o systemie sterowania dostarczanym razem z robotem.

2. Częstym problemem podczas projektowania linii produkcyjnych jest ograniczone miejsce, na jakim mamy zagospodarować całą produkcję. Projektanci dobierają robota lub roboty w taki sposób, aby mogły wykonać swoje zadania, a następnie zamykają je stałym wygrodzeniem, tak jak pozwala im miejsce w fabryce. Czasami okazuje się, że zasięg robota jest dużo większy od obszaru wygrodzonego, czyli komory, w jakiej robot się znajduje. Rysunek 2 przedstawia nałożone wygrodzenie (kolor żółty, linia przerywana) na trajektorie maksymalnego zasięgu robota. Jak widzimy, zasięg robota wykracza poza wygrodzenie. Obszary opisane literą C są zagrożone uderzeniem przez ramię robota. Obszar pracy ciągłej oznaczony literą B również jest zagrożony uderzeniem przez ramię robota. Poddając obszary B i C ocenie ryzyka, niska ekspozycja w obszarze C wynikowo poda mniejsze ryzyko w odniesieniu do obszaru B z ciągłą ekspozycją. Zagrożenie występuje jednak w tych dwóch obszarach. Co robić, jeśli nie znajdziemy więcej miejsca? Rozwiązań jest kilka. Pierwsze, jakie może się nasunąć, to zbudowanie solidnego wygrodzenia, które zatrzyma rozpędzone ramię robota. Jest to wykonalne, ale dla małych robotów. Innym rozwiązaniem możliwym w niewielu aplikacjach jest ograniczenie mechaniczne osi robota w taki sposób, aby nie był w stanie fizycznie przemieścić się do strefy poza wygrodzenie. Najpopularniejszym w ostatnich czasach jest ograniczenie software'owe. Wymaga to specjalnego kontrolera z możliwością programowania tzw. *safety cube*. Jest to programowe bezpieczne ograniczenie trajektorii roboczej robota. Przypadkowe wyjście poza ograniczającą sferę skutkuje bezpiecznym zatrzymaniem ruchu robota. W szczegółach odsyłam do normy PN EN ISO 10218-2, gdzie znajduje się opis możliwości bezpiecznego ograniczania trajektorii robotów.

Podsumowanie

Budowanie zintegrowanych systemów produkcyjnych oraz automatyzacja produkcji z wykorzystaniem systemów z robotami przemysłowymi jest dużym wyzwaniem dla projektantów i integratorów zarówno w obszarze czysto technicznym, jak również formalnoprawnym. Podstawą jak zwykle jest poprawna ocena ryzyka. Dużą pomocą są również wytyczne wraz z rozwiązaniami opisane w normach zharmonizowanych z dyrektywą maszynową. Kluczem do sukcesu będzie właściwe podejście na początku realizacji projektu składające się na rozpoznanie formalnoprawne, wykonanie poprawnej inżynierskiej oceny ryzyka dla całej aplikacji oraz tam, gdzie można wykorzystanie rozwiązań opisanych w normach.