

# SICK AG

# BIAŁA KSIĘGA

SAFE ROBOTICS – BEZPIECZEŃSTWO W SYSTEMACH  
ROBOTÓW WSPÓŁPRACUJĄCYCH

2018-06

## AUTORZY

### **Fanny Platbrood**

Product Manager Industrial Safety Systems, Marketing & Sales  
w firmie SICK AG w Waldkirch/Niemcy

### **Otto Görnemann**

Manager Machine Safety & Regulations  
w firmie SICK AG in Waldkirch/Niemcy

## SPIS TREŚCI

Wstęp.....	3
Interakcja człowiek – maszyna i bezpieczeństwo.....	3
Definicje – terminologia.....	3
Normy dot. zastosowania robotów .....	3
Współistnienie.....	4
Koopercja .....	4
Współpraca.....	5
Normy i wymagania dotyczące bezpiecznych zastosowań robotów współpracujących.....	5
Podstawowe wymagania.....	5
Tryby pracy w zakresie współpracy według ISO 10218-2 oraz ISO/TS 15066.....	6
Ocena ryzyka .....	7
Ograniczenie ryzyka .....	7
Podsumowanie .....	7

## Wstęp

W poprzednich latach poczyniono duże postępy w zakresie przemysłowych aplikacji do automatyzacji układów napędowych i systemów wykrywania obiektów, otwierając drogę do nowej epoki interakcji pomiędzy ludźmi i maszynami.

Jeżeli zaś chodzi o kwestię bezpieczeństwa funkcjonalnego i związanych z nim norm takich jak IEC 61508, IEC 62061 oraz ISO 13849-1/-2 [1, 2, 3, 4], to nowe roboty ze zoptymalizowanymi funkcjami pozwalają obecnie na ścisłą współpracę z ludźmi we wspólnej przestrzeni roboczej. Jeśli w obszarze przemysłowym połączy się zdolności ludzkie z możliwościami robotów, doprowadzi to do rozwiązań produkcyjnych, które wyróżniają się będą między innymi wyższą jakością, niższymi kosztami, lepszą ergonomią i szybszym cyklem pracy (hasło: przemysł 4.0).

Wychodząc od obecnego stanu międzynarodowych norm dotyczących bezpieczeństwa robotów przemysłowych (ISO 10218-1/-2) [5, 6], a w szczególności robotów współpracujących (ISO/TS 15066) [7], w niniejszej białej księdze wyjaśnione zostaną wytyczne zawarte w tych normach i obowiązujące w zakresie opracowywania bezpiecznych zastosowań robotów współpracujących. Poza tym w artykule przedstawione są granice obecnych technologii i umożliwiony jest ogląd wymagań i koniecznych zmian.

## Interakcja człowiek – maszyna i bezpieczeństwo

W produkcji przemysłowej wzrasta zapotrzebowanie na elastyczne i autonomicznie pracujące maszyny, które można szybko i efektywnie dopasować do zmieniających się warunków produkcyjnych.

Aby uchronić ludzi przed niebezpieczeństwem związanym z prędkością, ruchomością i siłą robotów, wykonują one zwykle swoje prace za ogrodzeniem ochronnym. Jednak jeśli konieczna jest ścisła interakcja człowieka i maszyny, zastosowanie tej efektywnej, standardowej metody fizycznej separacji osoby zagrożonej od źródła niebezpieczeństwa jest niemożliwe. Z tego powodu należy zastosować alternatywne środki ograniczenia ryzyka.

### Definicje – terminologia

Interakcję człowieka z aktywnymi robotami i przypominającymi roboty urządzeniami można scharakteryzować na podstawie dwóch parametrów interakcji: przestrzeni i czasu. Jeśli nie istnieje ani wspólna przestrzeń, ani wspólny czas, w którym działają człowiek i aktywny robot, ruchy robota nie stanowią zagrożenia, a sytuacja jest uważana za „nieinteraktywną”. Sytuacje, w których człowiek i robot dzielą wspólną przestrzeń, ale w różnym czasie, nazywane są „kooperacyjnymi”. Dla sytuacji, w których człowiek i robot pracują w określonym czasie w tej samej przestrzeni, ustalono termin „współpraca”.

Zastosowanie	Różna przestrzeń robocza	Wspólna przestrzeń robocza
Przetwarzanie sekwencyjne	(Brak interakcji)	Kooperacja
Jednoczesne przetwarzanie	Współistnienie	Współpraca

### Normy dot. zastosowania robotów

Region	Ocena ryzyka	Roboty	Systemy robotów i integracja	Roboty współpracujące
Chiny	GB/T 15706-2012	GB 11291.1-2011	GB 11291.2-2013	GB 11291.2:2013
Korea Południowa		KS B ISO 10218-1	KS B ISO 10218-2	
Japonia	JIS B9700	JIS B8433-1	JIS B8433-2	JIS TS B0033
USA	ANSI/ISO 12100, ANSI B11.0	ANSI/RIA R15.06 (część 1)	ANSI/RIA R15.06 (część 2)	RIA TR R15.606
Europa	EN ISO 12100	EN ISO 10218-1	EN ISO 10218-2	ISO/TS 15066
Tajwan		CNS 14490-1 B8013-1	CNS 14490-2 B8013-2	
Kanada	CSA Z432, CAN/CSA-Z1002	CAN/CSA-Z434 (część 1)	CAN/CSA-Z434 (część 2)	
Brazylia	ABNT NBR ISO 12100	ABNT NBR ISO 10218-1/2	ABNT NBR ISO 10218-1/2	

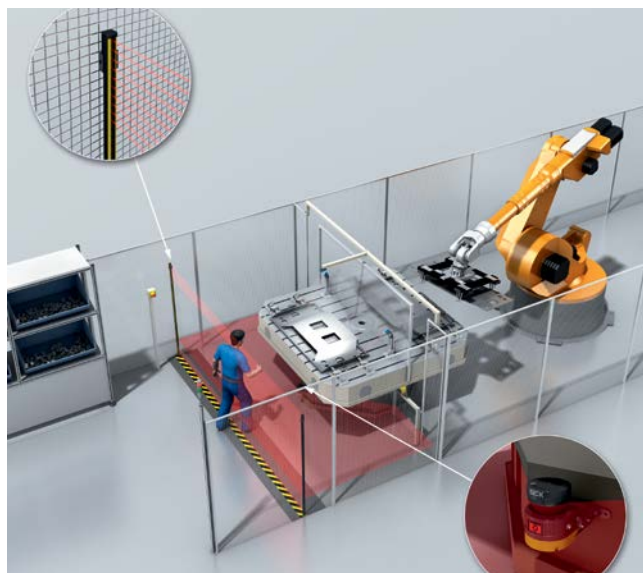
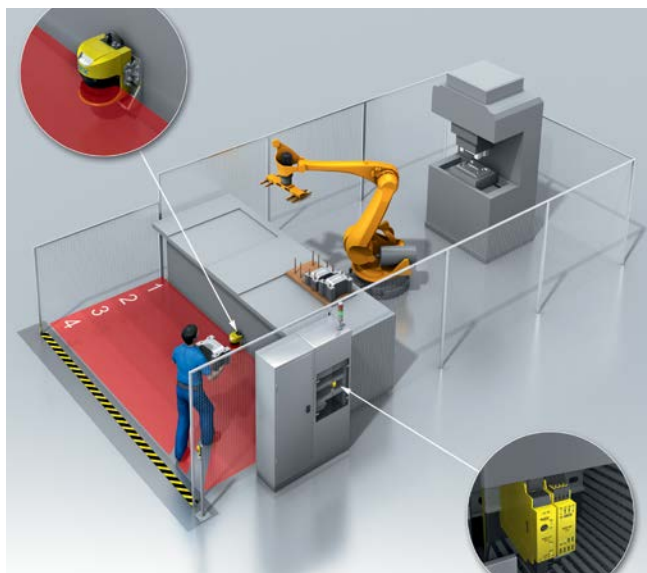
### Współlistnienie

Również w przemysłowych zastosowaniach robotów, w których nikt nie musi ingerować w proces produkcji, konieczne jest wejście operatora do przestrzeni roboczej robota np. podczas prac konserwacyjnych. W takich przypadkach przestrzeń robocza musi być ogrodzona, a drzwi dostępne zablokowane. Blokada musi zapewniać wyłączenie niebezpiecznych funkcji robota, gdy operator znajdzie się w obszarze zagrożenia. Stan ten musi być utrzymywany tak długo, jak długo człowiek znajduje się w obszarze zagrożenia lub dopóki drzwi dostępne są otwarte.



### Kooperacja

W przypadku robotów przemysłowych często spotykane są zastosowania, w których operator załaduje i rozładuje celę robota. W takich kooperacyjnych zastosowaniach operator i robot wykonują wymagane czynności we wspólnym obszarze roboczym w różnym czasie. Również w tym przypadku konieczne są techniczne środki ochrony. W zależności od konstrukcji systemu załadunku i rozładunku zaleca się zastosowanie optoelektronicznych urządzeń ochronnych takich jak kurtyny bezpieczeństwa i skaner bezpieczeństwa.



## Współpraca

Jednak w niektórych zastosowaniach konieczna jest jednoczesna interakcja człowieka i aktywnego robota we wspólnej przestrzeni roboczej. W tych sytuacjach, które nazywamy współpracą, siła, prędkość i trajektorie robota muszą być ograniczone. Ryzyko – jeżeli występuje – można ograniczać poprzez zastosowanie inherentnych środków ochrony lub dodatkowych środków, takich jak ograniczenie momentu obrotowego poprzez wydajność napędu, lub za pomocą związanych z bezpieczeństwem elementów systemu sterowania. Poza tym należy monitorować i sterować siłą, prędkością i trajektorią robota w zależności od rzeczywistego stopnia zagrożenia. Stopień zagrożenia jest także zależny od odległości pomiędzy człowiekiem a robotem. Do tych zadań wymagane są niezawodne czujniki, które wykrywają osoby lub informują o ich prędkości i odległości od obszaru zagrożenia. Zasadniczo czujniki te muszą sprostać przyszłym wyzwaniom, które idą w parze z rozwojem technologii w zakresie współpracy.



## Normy i wymagania dotyczące bezpiecznych zastosowań robotów współpracujących

Opisany w części 2 normy ISO 10218 system robota składa się z robota przemysłowego, chwytaka i dowolnych części maszyny, instalacji i urządzeń, a także zewnętrznych elementów pomocniczych i czujników, które wspierają robota podczas wykonywania zadań.

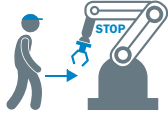
### Podstawowe wymagania

Przy projektowaniu aplikacji z robotami współpracującymi stawianych jest kilka podstawowych wymagań.

- Przestrzeń współpracy musi spełniać następujące warunki:
  1. Musi być zaprojektowana tak, aby operator mógł bez problemu i bezpiecznie wykonywać swoje zadania, unikając zagrożenia ze strony dodatkowego wyposażenia lub innych maszyn w obszarze roboczym.
  2. Nie może stwarzać zagrożenia skaleczeniem, zmiążdżeniem czy ukłuciem ani zagrożenia związanego z gorącymi powierzchniami lub częściami pod napięciem, którego nie można zmniejszyć poprzez zredukowanie prędkości, siły lub mocy systemu robota. Oczywiście odnosi się to również do poszczególnych elementów umożliwiających podtrzymywanie (narzędzia) i przedmiotów obrabianych.
- Przestrzeń robocza robota musi uwzględniać minimalną odległość od sąsiadujących obszarów, do których można wejść, a w których zachodzi zagrożenie zmiążdżeniem lub zakleszczeniem. Jeśli nie jest to możliwe, należy zastosować dodatkowe urządzenia ochronne.
- Zawsze, gdy jest to możliwe, należy przewidzieć bezpieczne ograniczenie osi, aby ograniczyć ilość swobodnych ruchów robota w przestrzeni i tym samym zredukować zagrożenie urazami osób.

**Tryby pracy w zakresie współpracy według ISO 10218-2 oraz ISO/TS 15066**

Specyfikacja techniczna ISO/TS 15066 określa cztery tryby pracy w zakresie współpracy, które zgodnie z wymaganiami dot. danego zastosowania i dot. konstrukcji systemu robota mogą być stosowane pojedynczo lub w kombinacji:



- Kontrolowane zatrzymanie bezpieczeństwa

W przypadku interakcji z operatorem w przestrzeni współpracy robot zostaje zatrzymany. Stan ten jest monitorowany, przy czym napęd może w dalszym ciągu pozostawać włączony.



- Ręczne prowadzenie

Bezpieczeństwo współpracy człowieka i robota jest zagwarantowane tym, że przy bezpiecznie zredukowanej prędkości można kierować robotem ręcznie.



- Ograniczenia siły i mocy – drogą do dobrej współpracy

Fizyczny kontakt pomiędzy systemem robota (łącznie z przedmiotem obrabianym) a osobą (operatorem) może być zamierzony lub niezamierzony. Wymagane bezpieczeństwo osiąga się poprzez ograniczenie mocy i siły do wartości, przy których nie można się spodziewać wystąpienia obrażeń ciała czy zagrożeń. Do współpracy opartej na ograniczonej w zakresie mocy i sile wymagane są roboty, które zostały opracowane specjalnie do tego trybu pracy. Specyfikacja techniczna ISO/TS 15066 podaje wartości maksymalne (biomechaniczne granice obciążeń), które nie mogą być przekroczone w przypadku kolizji robota z częściami ciała osoby.

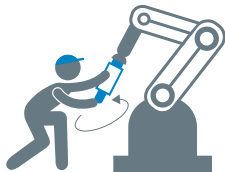


- Kontrola odległości i prędkości – przyszłość:

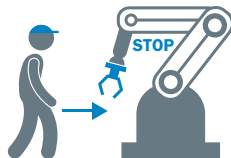
Prędkości tor ruchu (trajektoria) robota są monitorowane i dostosowywane w zależności od prędkości i pozycji operatora w przestrzeni chronionej.

W przypadku robotów współpracujących należy wybrać w zależności od zastosowania jedną lub kilka z wymienionych tutaj metod, aby zagwarantować bezpieczeństwo wszystkich osób, które mogą być potencjalnie zagrożone.

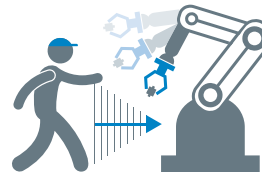
Aktualne wymagania dot. eksploatacji współpracujących systemów robotów obejmują związane z bezpieczeństwem system sterowania, który spełnia wymagania PL d według ISO 13849-1.

**Walidacja w trybach współpracy**

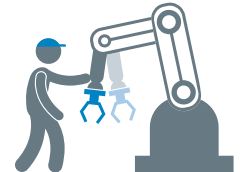
Ręczne prowadzenie



Kontrolowane zatrzymanie bezpieczeństwa



Kontrola odległości i prędkości



Ograniczenie siły i mocy

Im ściślejsza interakcja między człowiekiem a robotem, tym większe nakłady na walidację środków ograniczenia ryzyka.

## Ocena ryzyka

Dzisiejszy rynek oferuje dużą liczbę modeli robotów: od standardowych robotów przemysłowych do robotów, które zostały stworzone specjalnie do trybu współpracy (roboty współpracujące, zwane także „cobotami”). Gdy roboty są zintegrowane w systemach (z chwytakami itd.), wymagane jest przeprowadzenie oceny ryzyka całego systemu robota (całej maszyny). Wynikające z tego środki ograniczenia ryzyka powinny zagwarantować bezpieczną pracę w trybie współpracy. Jest to konieczne także wtedy, gdy dany robot wyposażony jest już w konstrukcyjne środki ograniczenia ryzyka.

## Ograniczenie ryzyka

Do inherentnych środków ochrony, które zwykle są stosowane w przypadku robotów współpracujących, zalicza się m.in. następujące:

- Ograniczenie maksymalnie dopuszczalnych sił lub momentów obrotowych np. poprzez wymiarowanie napędu.
- Odpowiednie ukształtowanie powierzchni robota tak, aby zredukować siły nacisku lub przenoszone siły powstające podczas kolizji (np. zaokrąglone powierzchnie robota, absorbujące energię wyłożenie).

Jednak efektywność tych inherentnych środków ochrony może zostać istotnie pogorszona przez konstrukcję narzędzia robota, elementu przytrzymującego, przedmiotu obrabianego lub inne maszyny w obszarze współpracy.

W tym celu można zastosować dodatkowe środki ochrony:

- Ograniczenie mocy (momentu obrotowego), siły lub prędkości za pomocą związanych z bezpieczeństwem elementów systemu sterowania.
- Zastosowanie środków ochrony czułych na nacisk (PSPE) lub elektroczułego wyposażenia ochronnego (ESPE) do zatrzymania lub odwrócenia kierunku ruchu robota.

## Podsumowanie

W przyszłości ludzie i roboty będą jeszcze ściślej współpracować w zakresie automatyzacji, przy której wymagana jest duża elastyczność (np. przy produkcji krótkich serii o dużej różnorodności). Ręczne procesy montażowe zostaną zastąpione współpracą człowieka i robota, w której umiejętności człowieka i maszyny będą się optymalnie uzupełniać. Skutkiem tego może być poprawa ergonomii miejsc pracy, w których wymagana jest duża produktywność. Wymagane do celów zapewnienia bezpieczeństwa ograniczenie prędkości i siły należy dopasować do wymaganej produktywności.

Zasady projektowania zawarte w ISO/TS 15066 uzupełniają wymagania, które były już sformułowane w ISO 10218-1/-2, i tworzą podstawę do konstruowania współpracujących robotów.

Produkty i urządzenia stosowane obecnie na rynku mogą niezupełnie spełniać wymagania, które stawiane są w dzisiejszych czasach odnośnie do bezpiecznej i niezakłóconej współpracy człowieka z robotem. Opracowanie nowej technologii w zakresie czujników i robotów oraz inteligentnych systemów sterowania jest warunkiem przyszłych zastosowań współpracujących robotów.

Żadne zastosowanie, którego rozwiązaniem jest obecnie współpraca człowieka z robotem, nie przypomina pozostałych. Niezbędna jest specyficzna ocena ryzyka, nawet gdy stosowany robot został opracowany specjalnie do interakcji z człowiekiem. Fakt, że producent robota zintegrował w swoim produkcie środki inherentnie bezpiecznej konstrukcji, nie zwalnia integratora systemów jako producenta maszyn od zobowiązania do oceny i zredukowania potencjalnego ryzyka. Producent systemu i integrator systemów robotów muszą dokładnie skontrolować zastosowane przez producenta robota konstrukcyjne środki ochrony, uwzględnić pozostałe zagrożenia i ryzyka oraz zaprojektować system robota zgodnie z oceną ryzyka. Wynikiem oceny ryzyka są zgodnie z doświadczeniem dodatkowe środki ograniczenia ryzyka (np. optoelektroniczne kurtyny bezpieczeństwa lub laserowy skaner bezpieczeństwa itd.) implementowane przez producenta systemu w celu uzyskania w pełni bezpiecznego zastosowania opartego na współpracy.

## REFERENCJE

- [1] IEC 61508-x:2010 – Bezpieczeństwo funkcjonalne elektrycznych, elektronicznych i elektronicznych programowalnych systemów związanych z bezpieczeństwem – część 7. International Electrotechnical Commission. IEC Central Office – P.O. Box 131 – CH-1211 Genewa 20 – Szwajcaria.
- [2] IEC 62061:2015 – Bezpieczeństwo maszyn – Bezpieczeństwo funkcjonalne elektrycznych, elektronicznych i elektronicznych programowalnych systemów sterowania związanych z bezpieczeństwem. International Electrotechnical Commission. IEC Central Office – P.O. Box 131 – CH-1211 Genewa 20 – Szwajcaria
- [3] ISO 13849-1:2015 – Bezpieczeństwo maszyn – Elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem – część 1: Ogólne zasady projektowania. ISO International Organization for Standardization. P.O. Box 56 – CH-1211 Genewa 20 – Szwajcaria
- [4] ISO 13849-2:2003 – Bezpieczeństwo maszyn – Elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem – część 2: Walidacja. ISO International Organization for Standardization. P.O. Box 56 – CH-1211 Genewa 20 – Szwajcaria
- [5] ISO 10218-1:2011 – Roboty przemysłowe – Wymagania bezpieczeństwa – część 1: Roboty. ISO International Organization for Standardization. P.O. Box 56 – CH-1211 Genewa 20 – Szwajcaria
- [6] ISO 10218-2:2011 – Roboty przemysłowe – Wymagania bezpieczeństwa – część 1: Systemy robotów i integracja. ISO International Organization for Standardization. P.O. Box 56 – CH-1211 Genewa 20 – Szwajcaria
- [7] ISO/TS 15066:2015 – Robots and robotic devices – Collaborative robots. ISO International Organization for Standardization. P.O. Box 56 – CH-1211 Genewa 20 – Szwajcaria

→ [www.sick.com/safe-robotics](http://www.sick.com/safe-robotics)