PERFORMANCE LEVEL VALIDATION OF THE MACHINERY CONTROL SYSTEM

WALIDACJA POZIOMU ZAPEWNIENIA BEZPIECZEŃSTWA PRZEZ SYSTEMY STEROWANIA MASZYNAMI

Marek Dźwiarek

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

e-mail: madzw@ciop.pl

Abstract: *An important role among protective means play the elements of control systems performing safety functions. When the validation process of a safety performance level (PL) achieved by those systems is conducted properly one can draw the conclusion that any defect appearing in those systems would not cause the loss of safety functions. The paper presents formalized validation of the PL procedures for different categories and PL's for introducing into the computer program which makes more efficient all the operations involved into the validation and documentation processes of safety performance level achieved by machine control systems.*

Keywords: *safety of machinery, safety functions, performance level, validation*

Streszczenie: *Wśród środków ochronnych szczególną rolę odgrywają elementy systemów sterowania realizujące funkcje bezpieczeństwa. Właściwe przeprowadzenie walidacji poziomu zapewnienia bezpieczeństwa (PL) uzyskiwanego przez te systemy jest podstawowym warunkiem potwierdzającym, że defekty tych systemów nie doprowadzą do utraty funkcji bezpieczeństwa. W artykule przedstawiono sformalizowane procedury prowadzenia walidacji systemów sterowania maszynami dla poszczególnych kategorii i PL, które zostaną zaimplementowane do programu komputerowego usprawniającego prowadzenie i dokumentowanie walidacji poziomów zapewniania bezpieczeństwa przez systemy sterowania maszynami.*

Słowa kluczowe: *bezpieczeństwo maszyn, funkcje bezpieczeństwa, poziomy zapewnienia bezpieczeństwa, walidacja*

1. Wstęp

Przemysł maszynowy stanowi istotny dział przemysłu w Polsce. Według Rocznika Statystycznego Przemysłu [5] w 2005 r. w Polsce działało 4 288 przedsiębiorstw produkujących maszyny. W 2012 r. było to 4 992 przedsiębiorstwa. Natomiast naprawą konserwacją i instalowaniem maszyn zajmowało się odpowiednio 23 423 w 2005 r i 24 239 w 2012 r. W tabeli 1 podano wartość produkcji globalnej tych przedsiębiorstw w latach 2005 – 2012.

Tabela 1. Produkcja przemysłu maszynowego w mln zł. (źródło [5])

Dział	2005	2010	2011	2012
Produkcja maszyn i urządzeń	29 001,4	36 260,5	38 788,5	41 611,8
Naprawa, konserwacja i instalowanie maszyn	19 223,0	24 210,8	27 681,8	30 145,9

Widzimy, że produkcja maszyn oraz naprawa, konserwacja i instalowanie maszyn są stale rozwijającym się działem gospodarki, zarówno w zakresie liczby przedsiębiorstw, jak i wytwarzanego produktu. Maszyny produkowane w Polsce w dużej części są następnie użytkowane w polskich przedsiębiorstwach. Natomiast konserwację, naprawy i instalowanie maszyn jest wykonywane praktycznie tylko w Polsce. Wszystkie te działania mają wpływ na bezpieczeństwo operatorów maszyn. Według Sprawozdania z działalności PIP w 2013 roku [10] w Polsce miało miejsce 57 wypadków śmiertelnych spowodowanych utratą kontroli nad maszyną, co stanowi 15,1% wszystkich wypadków śmiertelnych zbadanych przez PIP. W grupie wszystkich wypadków zaistniałych przy obsłudze maszyn w 2013 r. około 10% było spowodowanych niewłaściwym doborem lub brakiem urządzeń ochronnych lub wadami konstrukcyjnymi czynnika materialnego. Dane te wskazują jak istotne jest zaprojektowanie, a następnie instalowanie maszyn z uwzględnieniem właściwego zastosowania środków ochronnych. Należy przy tym zwrócić uwagę, że obecnie w naszym kraju przedsiębiorstwa zajmujące się konserwacją, naprawami i instalowaniem maszyn wykonują także prace modernizacyjne, mające na celu dostosowanie maszyn użytkowanych do minimalnych wymagań bezpieczeństwa określonych w dyrektywie 2009/104/WE [2]. Aktualnie są to działania prowadzone w dużej skali w całym kraju. Polegają one przede wszystkim na wyposażeniu maszyn użytkowanych w dodatkowe środki bezpieczeństwa. Często wiążą się one także z wymianą systemu sterowania maszyną. W celu upewnienia się, że działania te są prowadzone właściwie, należy przeprowadzić walidację zastosowanych środków bezpieczeństwa. W przypadku maszyn nowych dyrektywa maszynowa 2006/42/WE [1] nakłada na producenta obowiązek przeprowadzenia oceny zgodności oraz jej udokumentowania. Także w przypadku maszyn modernizowanych powinno być udokumentowane, że przeprowadzono walidację środków bezpieczeństwa. Wśród tych środków ochronnych szczególną rolę odgrywają elementy systemów sterowania realizujące

funkcje bezpieczeństwa. Właściwe przeprowadzenie walidacji poziomu zapewnienia bezpieczeństwa uzyskiwanego przez te systemy jest podstawowym warunkiem potwierdzającym, że defekty tych systemów nie doprowadzą do utraty funkcji bezpieczeństwa, a w konsekwencji nie spowodują groźnych w skutkach wypadków [3]. Wspomaganie projektantów systemów sterowania maszyn we właściwym przeprowadzeniu ich walidacji może więc w konsekwencji przyczynić się zarówno do dalszego rozwoju znaczących działów gospodarki, jak i w ograniczeniu liczby wypadków zdarzających się przy obsłudze maszyn.

2. Dotychczasowy stan wiedzy

Rozwój technik informatycznych umożliwił tworzenie urządzeń o coraz większych możliwościach funkcjonalnych. Dotyczy to także nowoczesnych maszyn, których systemy sterowania umożliwiają zautomatyzowanie większości procesów wytwórczych, przy jednoczesnym zachowaniu dużej dokładności i powtarzalności obróbki. Możliwość ciągłej kontroli pracy maszyn jest także wykorzystywana do zapobiegania sytuacjom niebezpiecznym, a więc do realizacji funkcji bezpieczeństwa przez systemy sterowania. W przypadku elementów systemów sterowania realizujących funkcje bezpieczeństwa szczególne znaczenie, oprócz właściwości funkcjonalnych, ma także zapobieganie działaniu nieprawidłowym. Ponieważ nieprawidłowe działanie systemu sterowania jest skutkiem defektu, przypadkowego lub systematycznego, więc w przypadku systemu realizującego funkcję bezpieczeństwa ich istotną właściwością jest odporność na defekty. Znalazło to także odzwierciedlenie w wymaganiach zasadniczych dyrektywy maszynowej [1]. Wymagania te dotyczą projektowania maszyn nowych. Natomiast w przypadku maszyn użytkowanych odpowiadające im wymagania zawarte są w dyrektywie 2009/104/WE [2]. Wymagania dotyczące odporności systemów sterowania maszynami na defekty zostały uszczegółowione w normach:

- PN EN-ISO 13849-1:2008E Bezpieczeństwo maszyn - Elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem - Część 1: Ogólne zasady projektowania [11].
- PN-EN 62061:2008P Bezpieczeństwo maszyn – Bezpieczeństwo funkcjonalne elektrycznych, elektronicznych i elektronicznych programowalnych systemów sterowania związanych z bezpieczeństwem [13].

W przypadku obu tych norm wymaga się, aby w celu potwierdzenia spełnienia wszystkich wymagań, przeprowadzić walidację elementów systemu sterowania realizujących funkcje bezpieczeństwa. Według ankiety przeprowadzonej przez ISO TC 199/WG1 „Merging of ISO 13849-1 and IEC 62061” [6] prawie 90% producentów maszyn i dostawców elementów bezpieczeństwa stosuje w praktyce normę ISO 13849-1 (identyczną z [11]) a 60% normę ISO 13849-2 (identyczną z [12]), jak to pokazano na rys. 1.

Producenci maszyn
bezpieczeństwa

Producenci elementów

EN 954-1
ISO 13849
ISC

EN 954-1
ISC

■ - liczba zatrudnionych < 250, ■ - liczba zatrudnionych > 250

*Rys. 1 Stosowanie norm dotyczących systemów sterowania maszynami.
(źródło [6])*

Wyniki tej ankiety, wskazują, że główne zapotrzebowanie dotyczy wspomaganie w realizacji wymagań norm serii ISO 13849. Znalazło to odzwierciedlenie w opracowaniach dotyczących projektowania związanych z bezpieczeństwem systemów elementów sterowania maszynami. Aktualnie najpowszechniej używany (patrz [6]) jest przewodnik opracowany w IFA [8]. Jest to obszerne opracowanie zawierające objaśnienia zasad projektowania systemów sterowania realizujących funkcje bezpieczeństwa w maszynach, a także zasady ich walidacji. Narzędziem wspomagającym projektowanie tych systemów jest oprogramowanie SISTEMA [14]. Umożliwia ono wyznaczenie uzyskanego poziomu zapewnienia bezpieczeństwa PL na podstawie parametrów niezawodnościowych, wyznaczonych w procesie walidacji. Natomiast nie obejmuje szeregu działań związanych z walidacją systemu (patrz. [7]), takich jak analiza FMEA, czy też wyznaczenie pokrycia diagnostycznego DC. W programie tym są jedynie pytania, czy zostało to zrobione. Udostępnienie narzędzi komputerowych wspomagających prowadzenie walidacji poziomu zapewnienia bezpieczeństwa przez systemy sterowania maszynami znacznie ułatwi producentom maszyn prawidłowe wykonanie tych działań. Program zakłada, że walidacja jest przeprowadzona poza programem, a jedynie wymaga i nadzoruje wprowadzenie wyznaczonych parametrów. Podobne rozwiązanie zastosowano w narzędziach wspomagających ocenę ryzyka przy projektowaniu maszyn PRO-M [4].

W programie tym, w module „Systemy sterowania” przewidziane jest miejsce na potwierdzenie kolejnych etapów walidacji systemu sterowania. Jednak program umożliwia jedynie przywołanie dokumentów zawierających wyniki walidacji, ale dokumenty te muszą być opracowane poza programem. Także program safexpert [9] zawiera moduły dotyczące wymagań odnoszących się do systemu sterowania maszyną. Natomiast nie zawiera narzędzi wspomagających prowadzenie walidacji w sposób systematyczny.

Praktyczne badania dostępnych narzędzi wspomagających ocenę systemu sterowania według normy ISO 13849-1 przedstawiono w [7]. Wnioski uzyskane przez autorów artykułu potwierdzają, że różne dostępne narzędzia programistyczne dedykowane do oceny systemów sterowania maszynami umożliwiają przede wszystkim wyznaczenie osiąganego PL, ale nie zawierają narzędzi wspomagających walidację parametrów niezbędnych do prowadzenia obliczeń. Potwierdza to, że nadal brak jest wygodnych i przyjaznych w użyciu narzędzi wspomagających wszystkie etapy prowadzenia walidacji poziomu zapewnienia bezpieczeństwa według norm ISO 13849-1 i ISO 13849-2, a raport [6] wskazuje na potrzebę dostępu do takich narzędzi.

3. Metodyka badań

Opracowanie procedur prowadzenia walidacji poziomu zapewnienia bezpieczeństwa PL przez systemy sterowania maszynami wymagała przeprowadzenia analizy wymagań dotyczących poszczególnych poziomów zapewnienia bezpieczeństwa przez systemy sterowania maszynami i określenie jak poszczególne wymagania należy potwierdzić w procesie walidacji. Uwzględnione przy tym zostały systemy wykonane w różnych technikach: elektromechaniczne, elektroniczne, pneumatyczne, hydrauliczne. Opracowane także zostały wzory dokumentów z wszystkich działań przeprowadzanych w procesie walidacji. Opracowana metodyka przedstawiona została w formie graficznych procedur, które stanowiły założenia do programu. Następnie opracowany został program komputerowy. Program ten opracowano zgodnie z tzw. zwinnymi metodami wytwarzania oprogramowania - Agile Software Development. Proces realizacji oprogramowania ukierunkowany będzie na:

- bezpośrednią i regularną współpracę zespołu programistów z ekspertami merytorycznymi,
- szybkie reagowanie na zmiany wymagań na każdym etapie tworzenia oprogramowania.

Działania te będą miały na celu dostarczanie działającego oprogramowania możliwie jak najwyższej jakości. Poszczególne moduły programu w miarę ich powstawania, będą poddawane testom sprawdzającym, że działają zgodnie z założeniami. Opracowane oprogramowanie zostanie zweryfikowane poprzez zastosowanie do 5 - ciu różnych systemów sterowania o różnej złożoności i różnych poziomach zapewnienia bezpieczeństwa. Wnioski z weryfikacji zostaną uwzględnione w końcowej wersji programu.

4. Ogólne zasady walidacji PL

Walidacja jest to proces mający na celu potwierdzenie, że zaprojektowane związane z bezpieczeństwem elementy systemu sterowania (SRP/CS) maszyną spełniają ogólne wymagania bezpieczeństwa dotyczące maszyny [12].

Rys. 2 Walidacja PL w ogólnym procesie walidacji SRP/CS. (źródło [12])

Walidacja powinna wykazać, że SRP/CS spełnia wymagania PN-EN ISO 13849-1 [11], a w szczególności:

- określone w procesie projektowania wymagania dotyczące realizowanych przez te elementy funkcji bezpieczeństwa,
- wymagania dotyczące określonego poziomu zapewnienia bezpieczeństwa,
- wymagania dotyczące określonej kategorii wg PN-EN ISO 13849-1 [11],
- środki zastosowane w celu zapobiegania defektom systematycznym,
- wymagania dotyczące oprogramowania, jeśli dotyczy,
- zdolność SRP/CS do realizacji funkcji bezpieczeństwa w określonych warunkach środowiskowych,
- ergonomiczność zaprojektowanego interfejsu operatora, tak aby operator nie był nakłaniany do niebezpiecznych działań, np. obchodzenia SRP/CS.

Podstawowe wymagania dotyczące prowadzenia walidacji SRP/CS podane są w PN EN ISO 13849-2 [12]. Ogólny proces walidacji SRP/CS wg tej normy pokazany jest na rys. 2. Na rysunku tym pogrubiono obszary dotyczące walidacji poziomu zapewnienia bezpieczeństwa PL poprzez analizę, a więc te, które powinny być uwzględniane w opracowywanym programie. Są to działania dotyczące:

- planu walidacji w części dotyczącej analizy poziomu zapewnienia bezpieczeństwa,
- tworzenia list defektów wraz z ich wkluczeniami,
- formułowania specyfikacji funkcji bezpieczeństwa,
- określania i walidacji kategorii funkcji bezpieczeństwa,
- wyznaczania wskaźników PL: MTTFd, CD, CCF,
- sprawdzania środków zapobiegania defektom systematycznym, w tym w oprogramowaniu,
- weryfikacja osiągniętego PL,
- wyznaczanie PL w przypadku kombinacji SRP/CS realizujących jedną funkcję bezpieczeństwa.

5. Procedury prowadzenia walidacji PL

Na rys. 2 przedstawiono ogólne zasady prowadzenia walidacji. Z rysunku tego wynikają procedury postępowania w procesie walidacji. Dokumentacja do walidacji powinna pochodzić z projektu i być zweryfikowana i zwalidowana w ramach oceny projektu maszyny. Walidacja poziomu zapewnienia bezpieczeństwa (PL) jest częścią tego procesu.

Ogólna procedura walidacji PL pokazana na rys. 3 zaczyna się od identyfikacji projektu. W tym zakresie należy uszczegółowić następujące informacje:

- identyfikacja producenta (nazwa, adres, logo),
- nazwa maszyny/elementu bezpieczeństwa,
- przeznaczenie maszyny/elementu bezpieczeństwa,
dokumentu podsumowującego walidację po jej zakończeniu,
- datę i podpis.
- identyfikacja osoby sporządzającej dokumentację niezbędną do prowadzenia walidacji,
- wykaz funkcji bezpieczeństwa – przy każdej funkcji bezpieczeństwa powinno być miejsce, w którym automatycznie wpisywana jest identyfikacja

Rys. 3 Ogólna procedura walidacji PL funkcji bezpieczeństwa
(opr. własne)

Zapisy dotyczące przeznaczenia maszyny oraz wykaz funkcji bezpieczeństwa opracowywane są na podstawie oceny ryzyka prowadzonej do maszyny jako całości i stanowią dane wejściowe do procesu walidacji poziomu zapewnienia bezpieczeństwa. Są więc objęte walidacją maszyny jako całości i nie wymagają powtórnej walidacji w ramach opracowywanego programu. Dokumentacja pochodzi z projektu i być zweryfikowana i zwalidowana w ramach oceny projektu maszyny.

Następnym krokiem jest sporządzenie specyfikacji wymagań dotyczących funkcji bezpieczeństwa. Wymagania te sporządza osoba wyznaczona do sporządzenia dokumentacji do walidacji. Specyfikacja sporządzana jest do każdej funkcji bezpieczeństwa oddzielnie. Obejmuje ona:

- specyfikację wymagań funkcjonalnych,
- ocenę ryzyka według PN EN ISO 13849-1:2008E, Załącznik A, ze wskazaniem i uzasadnieniem poszczególnych parametrów tej oceny, oraz wyznaczony wymagany poziom zapewnienia bezpieczeństwa PL_r,
- określenie zakładanej kategorii, w której wykonany będzie SRP/CS realizujący tę funkcję.

Gdy określona została specyfikacja wymagań bezpieczeństwa należy sporządzić „Plan walidacji poziomu zapewnienia bezpieczeństwa”. Plan tej jest częścią ogólnego „Planu walidacji”. Proponujemy, aby plan walidacji sporządzała osoba, która będzie wykonywać walidację. W programie należy przewidzieć możliwość wprowadzenia następujących informacji:

- identyfikacja osoby, która dokona walidacji (osoba ta będzie później wskazana na każdym wygenerowanym dokumencie z walidacji),
- zestawienie dokumentów, które są wymagane do przeprowadzenia walidacji odpowiednio do określonej w specyfikacji wymagań kategorii,
- wskazanie odniesienia, według którego każdy dokument będzie sprawdzany.

W przypadku każdej funkcji bezpieczeństwa „Plan walidacji poziomu zapewnienia bezpieczeństwa” sporządzany jest zgodnie z procedurą postępowania w przypadku określonej w specyfikacji wymagań kategorii.

Kolejnym krokiem jest sporządzenie dokumentacji odpowiedniej do określonej kategorii. Dokumentację ta następnie jest sprawdzana przez osobę walidującą w aspekcie kompletności, odpowiedniości i poprawności.

W przypadku, gdy funkcja bezpieczeństwa jest realizowana przez kombinację kilku SRC/PS należy także przeprowadzić walidację poprawności wyznaczenia całkowitego PL na podstawie PL elementów składowych. Dokonuje się tego wg. PN EN ISO 13849 -1:2008A p. 6.3.

Ostatnim działaniem jest walidacja PL. Polega ona na sprawdzeniu, na podstawie dokumentacji dotyczącej kategorii:

- poprawności oszacowania DC_{avg} i $MTTF_d$,
- że $PL \geq PL_r$.

W przypadku stwierdzenia jakichkolwiek wad w dokumentacji zostaje ona zwrócona osobie sporządzającej do wykonania uzupełnień.

Proces ten należy powtórzyć do każdej funkcji bezpieczeństwa.

Zakres dokumentacji podlegającej walidacji zależy od kategorii systemu wg PN EN ISO 13849 -1:2008A. W przypadku systemów kategorii B walidacji podlegają następujące dokumenty:

- przewidywane narażenia podczas pracy,
- wpływ obrabianych materiałów,
- funkcjonowanie pod wpływem innych zewnętrznych oddziaływań,
- opis środków zapobiegania defektom systematycznym,
- opis środków zapobiegania defektom oprogramowania (jeśli dotyczy),
- Wyznaczone wartości MTTF.

W systemach kategorii 1 należy dodatkowo uwzględnić:

- sprawdzenia, że wszystkie zastosowane elementy należą do grupy „wypróbowanych”,
- sporządzeniu „Wykazu wypróbowanych zasad bezpieczeństwa” – zgodnie z PN EN ISO 13849-2:2013A Zał. A ÷ D,
- niemożności spełnienia wymagań kat. 1 z zastosowaniem systemów programowalnych.

Procedura postępowania w przypadku systemów kat. 2 uwzględnia wszystkie dokumenty wymagane do kat. B, oraz:

- opis procedur sprawdzania funkcji bezpieczeństwa wraz ze wskazaniem ich częstości,
- opis działania zastosowanych środków diagnostycznych,
- pokrycie diagnostyczne DC wraz z uzasadnieniem,
- przewidywane pojedyncze defekty oraz sposoby ich wykrywania,
- wykaz defektów wykrywanych,
- uszkodzenia od wspólnej przyczyny i środki zapobiegawcze.

Ponadto należy przeprowadzić analizę FMEA.

Dokumentacja z walidacji systemów kat. 3 i 4 obejmuje sprawdzenia:

- wykaz zastosowanych wypróbowanych zasad bezpieczeństwa,
- opis działania zastosowanych środków diagnostycznych,
- częstość sprawdzania, jeśli podana,
- przewidywane pojedyncze defekty oraz sposoby ich wykrywania,
- wykaz defektów wykluczonych,
- opisy zachowania się funkcji bezpieczeństwa w warunkach defektów,
- pokrycie diagnostyczne DC,
- wyznaczone wartości MTTF dla poszczególnych kanałów,
- wyznaczone MTTFd,
- opis środków zapobiegania defektom systematycznym,
- opis środków zapobiegania defektom oprogramowania (jeśli dotyczy),
- analizę FMEA.

Do wszystkich tych dokumentów opracowano wzory formularzy. Opracowane procedury i wzory formularzy zostały zaimplementowane do programu komputerowego, który usprawnia wykonanie wszystkich niezbędnych działań, związanych z prowadzeniem i dokumentowaniem walidacji poziomów zapewniania bezpieczeństwa przez systemy sterowania maszynami.

6. Podsumowanie

Opracowane procedury postępowania w procesie walidacji poziomów zapewnienia bezpieczeństwa przez SRP/CS dotyczą jednego z najbardziej istotnych etapów walidacji tych systemów. Przywołane we wprowadzeniu wyniki badań ankietowych prowadzonych w środowisku projektantów maszyn i elementów bezpieczeństwa wskazują, że jest to etap sprawiający najwięcej problemów. Podstawowym założeniem zadania badawczego jest że nadanie tym procedurom formy programu komputerowego może przyczynić się do usprawnienia działań wykonywanych w procesie walidacji. Program taki usystematyzuje prowadzenie wszystkich działań poprzez kontrolę ich kompletności, a także ułatwi generowanie dokumentacji potwierdzającej poprawność zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych. W założeniach do programu celowo rozszerzono zakres wykonywanych działań poza działania ściśle związane z walidacją. Dotyczy to przygotowania dokumentów, które będą podlegały walidacji. Jest to obszar znacznie szerszy od walidacji jako takiej, ale ściśle z nią powiązany. Takie rozszerzenie może przyczynić się do zwiększenia grupy osób zainteresowanych korzystaniem z programu.

W dalszych pracach program ten poddany zostanie badaniom metodami „inspekcji eksperckiej” (expert inspection EI) i „testowania przez użytkowników” (user testing (UT)).

7. Literatura

- [1] Dyrektywa 2006/42/We Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn, zmieniająca dyrektywę 95/16/WE (przekształcenie). DzUrz UE, 9.6.2006; L: 157/24.
- [2] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/104/WE z dnia 16 września 2009 r. dotycząca minimalnych wymagań w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny użytkowania sprzętu roboczego przez pracowników podczas pracy (druga dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG). DzUrz UE, 3.10.2009; L: 260/5.
- [3] Dźwiarek M. An analysis of Accident Caused by Improper Functioning of Machine Control Systems. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. 2004; 10(2), 129-136
- [4] Dźwiarek M. Supporting tools for risk assessment during the machine design process. Journal of KONBIN. 2008; 3(6): 199-212.
- [5] Główny Urząd Statystyczny. Rocznik statystyczny przemysłu. Zakład Wydawnictw Statystycznych. Warszawa. 2014.
- [6] ISO/TC 199 N 1035. Outcome of the questionnaire about design of safety related control systems for machinery. International Standardisation Organisation. 2013. Genewa. Szwajcaria.
- [7] Jocelyn S., Baudoin J., Chinniah Y., Charpentier P. Feasibility study and uncertainties in the validation of an existing safety-related control circuit with

- the ISO 13849-1:2006 design standard. Reliability Engineering and System Safety. 2014; 121:104–112.
- [8] Lungfiel, A., Huelke M. The SISTEMA Cookbook. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV). 2011.
- [9] Łukaszyński M. Profesjonalne narzędzia do pracy z listami kontrolnymi: Asystent kontroli i odbioru. Napędy i sterowanie. 2014; 4: 20-23.
- [10] Państwowa Inspekcja Pracy. Sprawozdanie z działalności Państwowej Inspekcji Pracy w 2013 r. Warszawa. 2014.
- [11] PN EN-ISO 13849-1:2008E Bezpieczeństwo maszyn - Elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem - Część 1: Ogólne zasady projektowania.
- [12] PN EN-ISO 13849-2:2013-04A Bezpieczeństwo maszyn - Elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem - Część 2: Walidacja.
- [13] PN-EN 62061:2008P Bezpieczeństwo maszyn – Bezpieczeństwo funkcjonalne elektrycznych, elektronicznych i elektronicznych programowalnych systemów sterowania związanych z bezpieczeństwem.
- [14] Software-Assistent SISTEMA - Safety Integrity Software Tool for the Evaluation of Machine Applications. v. 1.1.6.<http://www.dguv.de/ifa/>.

Publikacja przygotowana na podstawie wyników badań prowadzonych w ramach III etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” dofinansowanego w latach 2014-2016 w zakresie projektów badawczych rozwojowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Dr hab. inż. Dźwiarek Marek, prof. nadzw. CIOP-PIB, kierownik Zakładu Techniki Bezpieczeństwa, specjalizuje się w problematyce urządzeń ochronnych stosowanych do maszyn, bezpieczeństwa funkcjonalnego, oceny ryzyka, interfejsów człowiek - maszyna. Jest przewodniczącym KT 281, członkiem grupy roboczej ISO/TC 199, IEC TC 44, Grupy Roboczej Krajowego Forum Konsultacyjnego z zakresu maszyn, członkiem honorowym Stowarzyszenia „Paragraf 34”.