

EMC robotów społecznych – wyzwanie XXI wieku

Streszczenie. Zaznaczono przyszłe znaczenie i zadania mobilnych robotów społecznych. W celu analizy EMC wprowadzono pojęcie przestrzeni oddziaływań EMC i zdefiniowano jej metrykę. W tej przestrzeni zaproponowano wymagania EMC dotyczące robotów społecznych, w szczególności odnoszące się do funkcji bezpieczeństwa zaproponowanych przez autora we wcześniejszych pracach i obecnie. Wskazano na nowe zagadnienia EMC, które się pojawiły i na bezpieczeństwo cybernetyczne, które jest tu istotne i stało się aktualne.

Abstract. The future meaning and tasks of mobile social robots are mentioned. In purpose to lead EMC analysis the idea of "EMC interactions space" is introduced and its metric is defined. Within this space the EMC requirements for social robots are proposed, in particularly for safety functions formulated by the author in earlier works and now. The new EMC problems, that arises are indicated as well as the problem of cybersecurity, very in vogue at now. (**EMC of social robots – challenge of XXI century**).

Słowa kluczowe: roboty mobilne, roboty społeczne, kompatybilność elektromagnetyczna, bezpieczeństwo

Keywords: mobile robots, social robots, electromagnetic compatibility, safety.

Wstęp

Roboty społeczne – usługujące i towarzyszące człowiekowi, pomagające mu i opiekujące się nim – to obecnie wyzwanie naukowe i techniczne na miarę XXI wieku.

Starzejące się społeczeństwa zachodnie (w tym polskie) wkraczają w sytuację, gdy pokolenie w wieku produkcyjnym (średnie i młodsze) nie są w stanie po

dołąć łącznej opiece nad swoimi dziećmi i nad swoimi rodzicami i dziadkami, ci zaś potrzebują dla siebie innego wsparcia niż tylko imigranci z krajów muzułmańskich ogarniętych wojnami, rewolucjami i integracją religijną. Takim perspektywnym wsparciem mogą stać się roboty społeczne. Muszą one jednak spełniać kilka warunków: być o wyglądzie i zachowaniu wzbudzającym zaufanie i poczucie, że nie uczynią krzywdy podopiecznemu i jednocześnie być tak skonstruowane i oprogramowane, aby rzeczywiste prawdopodobieństwo uczynienia krzywdy podopiecznemu było znikomo małe.

Roboty społeczne powinny spełniać wymagania paradygmatu i prawa – **ROBOT JEST PRZYJACIELEM CZŁOWIEKA** [1,2].

W obecnym świecie nasyconym elektroniką i systemami sieciowymi jednym z niezmiernie istotnych aspektów konstrukcji (sprzętu i oprogramowania) robotów społecznych jest zapewnienie kompatybilności elektromagnetycznej w tym środowisku jako warunku koniecznego bezpiecznej pracy.

Celem referatu jest naświetlenie niektórych aspektów tego zagadnienia.

Obszary współdziałania człowieka z robotami społecznymi

Cechą charakterystyczną tego obszaru jest wspólne użytkowanie przestrzeni przez człowieka i roboty, mobilne, inteligentne, autonomiczne, zdolne do rozwiązywania złożonych zadań wynikających z obsługi człowieka niepełnosprawnego i/lub chorego, przygotowania, transportu i podawania dań żywnościowych, obsługi elektroniki domowej itp. Z rozważań wyłączono roboty medyczne i roboty przeznaczone do działań wojskowych i policyjnych.

Robot może człowiekowi:

- towarzyszyć, w tym wspólnie z nim wykonywać zadania domowe,
- pomagać mu,
- wspomagać go, w tym fizycznie,
- służyć do transportu osobistego,

- służyć do celów rozrywkowych (zabawowe, rekreacyjne).

Wymagania racjonalne, rozsądkowe i prawne

Jak wynika z przytoczonego wyżej paradygmatu robot społeczny powinien emanować przyjaznym zachowaniem względem człowieka, którym najczęściej będzie jego podopieczny. Będzie więc konieczny przyjazny, ludzki wygląd (którym nie będzie tu przedmiotem rozważań), a ponadto będą konieczne:

- pewne, zrównoważone, płynne ruchy lokomocyjne,
- także ruchy związane z obsługą człowieka, np. podawanie rzeczy, pokarmu,
- także ruchy wynikające ze świadczenia usług transportowych człowiekowi,
- pewna komunikacja głosowa, gestami, wzrokiem – zależnie od potrzeb obsługiwanej podopiecznego,
- pewna i przekonująca realizacja wszelkich działań awaryjnych.

Roboty społeczne są swego rodzaju maszynami – spełniają bowiem definicję maszyny podaną w Dyrektywie Maszynowej (MD) [3]. Funkcje realizujące sformułowane powyżej postulaty są funkcjami bezpieczeństwa w rozumieniu tej dyrektywy. Są również urządzeniami elektrycznymi, a więc powinny spełniać wymagania wynikające z Dyrektywy Kompatybilności Elektromagnetycznej (EMCD) [4]. Ze względu na rodzaj zastosowania robotów społecznych one powinny spełniać kryteria bezpieczeństwa na poziomie obiektów infrastruktury krytycznej i mieć właściwości EMC adekwatne do tego poziomu bezpieczeństwa.

Stan badań w zakresie EMC i bezpieczeństwa robotów społecznych

W ostatnim okresie nasiliły się badania nad robotami społecznymi. W 7-mym Programie Ramowym UE były finansowane liczne projekty z tej dziedziny [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]. Poza innymi wynikami zaowocowały one publikacjami, których zidentyfikowano 500. W tym zbiorze napotkano tylko 4 publikacje [15, 16, 17, 18] oraz jeden raport w [6] omawiający zagadnienia bezpieczeństwa użytkowania i cyberbezpieczeństwa. W raporcie [6] wskazano, że stany uszkodzeń zaobserwowane w czasie eksperymentów, poza przypadkowymi błędami oprogramowania, mają dwie przyczyny: niedostateczną sztywność modułów i ograniczenie dolności poznawczych robota. W pracy Ari, Tani i in. [16] wskazano, że realizacja nowych zadań (celów) robota jest silnie zależna od poziomu

szumów i stanu początkowego robota. Temat jest intensywnie eksplorowany, dowodem są prace [19, 20, 21, 22, 23]. W [12] rozpatrzono system sterowania robota humanoidalnego oparty na naśladowaniu ruchów człowieka. W [20] przedstawiono zagadnienie lokalizacji osób za pomocą dwóch sygnałów: z kamer i z sieci WIFI. W [21] przedstawiono podatność robota mobilnego na uszkodzenia czujników otoczenia. W [22] zaproponowano architektury systemów sterowania robota mobilnego i układów wielorobotowych na poziomie informatycznym. W [23] przedstawiono niezmiernie ważny problem komunikacji człowiek-robot w robotach rehabilitacyjnych, na przykładzie robotów opracowanych w różnych programach badawczych.

Jednakże nigdzie nie sformułowano wymagań bezpieczeństwa, a także nie zostały poruszone aspekty kompatybilności elektromagnetycznej.

Temat można więc traktować jako dziewiczy.

Przestrzeń oddziaływań EMC: koncepcja i metryka

W przypadku przemysłowych gniazd zrobotyzowanych do opisanie oddziaływań wzajemnych EMC adekwatnym był model stacjonarny przedstawiony przez Autora w [19], [20]. Tu jednak takie podejście byłoby błędne, gdyż ruchliwość robotów względem otoczenia i ewentualnie względem siebie (przy liczbie robotów przekraczającej jeden) wymaga innego podejścia.

Na potrzeby niniejszej analizy EMC przestrzeni przemieszczania się robota (ów) definiuję jako „przestrzeń oddziaływań EMC - POEMC”, w której oznaczam:

S_{ik} – poziom emisji zaburzenia k przez obiekt i , wyrażony w $dB\mu V$,

P_{jk} – poziom odporności obiektu j na zaburzenie k , wyrażony w $dB\mu V$.

Metryką przestrzeni jest odległość falowa:

$$(1) \quad D_k = P_{jk} - S_{ik}$$

wyrażona w $dB\mu V$.

Metryka przedstawia poziom bezpieczeństwa w obszarze EMC – mała jej wartość tj. mała odległość falowa odbiornika zaburzeń od ich źródła wskazuje na stan zagrożenia – to zaburzenie może wytrącić robota ze stanu pracy bezpiecznej.

Odpowiednio duża wartość metryki to domniemanie, że rozpatrywane zaburzenie nie spowoduje wypadnięcia robota ze stanu pracy bezpiecznej.

Jak wynika z doświadczeń zdobytych i analiz wykonanych na potrzeby telekomunikacji [21], odległość bezpieczna to znaczy odległość falowa uniemożliwiająca interferencje wynosi:

$$(2) \quad D_k \geq 30 \text{ dB}\mu V$$

Tak więc różnica;

$$(3) \quad (D_k - 30) \text{ dB}\mu V$$

jest marginesem (zapasem) kompatybilności. Ten margines będzie zależny od położenia robota względem źródła zaburzenia jednakże, jak to wyniknie z dalszych rozważań, nie będzie to mieć znaczenia ze względu na rodzaj rozpatrywanych źródeł zaburzeń.

Do rozważenia jest jednak, czy w odniesieniu do robotów społecznych, za odległość bezpieczną nie należy przyjąć większej wartości metryki.

Wymagania do spełnienia w przestrzeni oddziaływań EMC

Jako przestrzeń oddziaływań EMC robotów społecznych należy rozpatrywać:

- pomieszczenia zamknięte: mieszkania, sklepy, urzędy itp. pomieszczenia biurowo-handlowe, sporadycznie pomieszczenia przemysłowe, np. wizyta z podopiecznym w warsztacie naprawczym,
- przestrzeń otwarta: ulice, skwery itp., np. spacer z podopiecznym lub droga do sklepu,

Środowisko EMC w pomieszczeniach zamkniętych jest zdefiniowane przez wymagania zawarte w normach emisji [28], [30], a odpowiednie wymagania odporności są w [27], [29]. Wydawałoby się, że problem jest wyjaśniony, tak jednak nie jest.

Realizacja zadań postawionych przed robotami społecznymi (wyjątkiem będą stacjonarne roboty rehabilitacyjne) wymaga ich nieskrepowanej ruchliwości, zatem: zasilanie bateryjne oraz sterowanie i komunikacja bezprzewodowa. W przestrzeni EMC oznacza to, że zaburzenia przenoszone drogą przewodową stają się nieistotne natomiast zasadniczego znaczenia nabierają zaburzenia działające bezprzewodowo:

- zaburzenia elektrostatyczne,
 - zaburzenia o charakterze radiowym, szerzej telekomunikacyjnym,
 - zaburzenia udarowe (burzowe) [34],
 - zaburzenia przenoszone informatyczną siecią bezprzewodową – wirusy i cyberataki.
- Tym zagadnieniom należy się przyjrzeć.

Za punkt wejściowy rozważań proponuję przyjąć wymagania dotyczące urządzeń wypełniających zadania związane z bezpieczeństwem funkcjonalnym – normę PN-EN 61326-3-1 [31]. Wybrane wymagania dotyczące odporności zawarte w tej normie zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wymagania odporności EMC wg [31]

| L.p. | Rodzaj zaburzenia | Poziom normy wg | Poziom przeliczony |
|------|---|---|----------------------------|
| 1 | Wyładowania ESD (elektrostatyczne) | 6 kV/8 kV kontakt/powietrze | 198 dB |
| 2 | Pole elektromagnetyczne – radiowe i telekomunikacyjne | 20 V/m (80 MHz do 1 GHz) 10 V/m (1,4 GHz do 2 GHz) 3 V/m (2,0 GHz do 6 GHz) | 146 dB 140 db 130 dB |
| 3 | Zaburzenia udarowe | 2 kV/4 kV | 186/192 dB |

UWAGA – Częstotliwości telekomunikacyjne według tabeli 2. Mają one szczególne znaczenie ze względu na powszechne stosowanie telekomunikacyjnych urządzeń przenośnych i wszędzie rozszewanie ich promieniowania.

Tabela 2. Częstotliwości telekomunikacyjne (opracowanie autora wg [31])

| L.p. | Zakres [MHz] | EMITANCI |
|------|--------------|---|
| 1 | 137 – 174 | Przenośne, SRD, MURS. |
| 2 | 219 – 220 | Amatorskie |
| 3 | 380 – 470 | TETRA, Amatorskie, 4G/LTE-A. |
| 4 | 746 – 960 | TETRA, 3G/FOMA, 3.9G/LTE, FRID, GSM, 3G/HSPA, NADC. |
| 5 | 1240 – 1880 | Amator., 3G/UMTS, 3G/HSPA, 3.9G/LTE, GSM, 3G/FOMA. |
| 6 | 1900 – 2690 | 3G/UMTS, 3G/FOMA, 3.9G/LTE, Amator.. ISM. |
| 7 | 3300 – 3600 | Amator., 4G/LTE-A, |
| 8 | 5150 – 5815 | HIPERLAN, RTTT, amator., ISM |

Biorąc pod uwagę, że dopuszczalny poziom zaburzeń promieniowanych w lokalizacjach przemysłowych [30, 25] nie przekracza 80 dB, zaś poziom emisji wyładowań ESD jest znikomy przy stosowaniu materiałów antystatycznych, poziomy odporności wymienione w tabeli 1 zapewniają spełnienie warunku (2).

Istnieje jeszcze problem EMC nie formułowany bezpośrednio w żadnej z norm – jest to emisja zaburzenia w postaci wyładowania ESD. Za niedopuszczalną należy przyjąć sytuację, gdy robot poruszający się po mieszkaniu, w tym po wykładzinach z tworzyw sztucznych, naładowałby się elektrycznością statyczną i po zbliżeniu do człowieka wywołałby wyładowanie iskrowe – wprawdzie o małej mocy lecz bardzo nieprzyjemne.

Zbadanie zjawiska i wypracowanie wytycznych do konstrukcji robotów społecznych z tego punktu widzenia jest sprawą istotną.

EMC i bezpieczeństwo

W [1] i [32] zamieszczono autorskie propozycje wymagań bezpieczeństwa dotyczące funkcji robota mobilnego przebywającego i działającego w otoczeniu człowieka. W celu zwiększenia czytelności opracowania przytoczono je w tabelach 3 i 4.

Tabela 3. Proponowane funkcje bezpieczeństwa związane z działaniem (opracowanie autora [1, 32])

| L.p. | Opis funkcji bezpieczeństwa | SIL |
|---|---|---------|
| 1 | Ograniczenie prędkości ruchów | 3 lub 2 |
| 2 | Sterowanie równowagą przy ruchach | 2 |
| 3 | Obwody hamowania – inteligentne i mechaniczne | 3 lub 2 |
| 4 | Zatrzymanie kontrolowane bezpieczne | 2 |
| 5 | Stałe i ruchome osłony elementów ruchomych | 2 |
| 6 | Zabezpieczenie przed nagłymi przyspieszeniami | 3 |
| 7 | Utrzymanie bezpiecznego zatrzymania w czasie za-wyładunku | 2 |
| 8 | Osłony połączeń elektrycznych i odłączanie zasilanie gdy zidentyfikowano ich otwarcie | 2 lub 3 |
| 9 | Mechanizmy rozpraszania energii cieplnej (np. wentylatory) | 1 |
| 10 | Mechanizmy pochłaniania udarów | 2 |
| 11 | Zatrzymanie awaryjne | 2 lub 3 |
| UWAGA – wybór SIL 2 lub 3 zgodnie z wynikami oceny ryzyka | | |

Tabela 4. Proponowane funkcje bezpieczeństwa związane z przyjacielskim zachowaniem (opracowanie autora [1,32])

| L.p. | Opis funkcji bezpieczeństwa | SIL |
|--|--|---------|
| 1 | Utrzymywanie odstępów przy omijaniu człowieka | 2 lub 3 |
| 2 | Utrzymywanie ograniczonej prędkości przy mijaniu człowieka | 2 lub 3 |
| 3 | Utrzymywanie ograniczonej prędkości przy podchodzeniu do człowieka | 2 lub 3 |
| 4 | Sygnalizacja, że widzi się człowieka, gdy podchodzi się do niego | 2 |
| 5 | Sygnalizacja przyjacielskich intencji i sympatii gdy podchodzi się do człowieka | 2 |
| 6 | Akceptowanie sygnałów i poleceń głosowych od człowieka i wykonywanie ich | 3 |
| 7 | Akceptowanie sygnałów i poleceń nadanych gestami przez człowieka i wykonywanie ich | 3 |
| 8 | Sprzęt mechanizmu przeciw wandalizmowi | 3 |
| 9 | Oprogramowanie mechanizmu przeciw wandalizmowi | 3 |
| 10 | Bezprzewodowe zatrzymanie awaryjne | 2 lub 3 |
| UWAGA – wybór SIL 2 lub 3 zgodnie z wynikami oceny ryzyka. | | |

Do tych funkcji dochodzi dodatkowo niespotykana dotąd funkcja – „tropizm na zasilanie” – wykrywanie stanu początku słabnięcia baterii zasilającej, automatyczne dążenie do punktu zasilania sieciowego, automatyczne włączenie ładowania baterii i automatyczne wyłączenie i odjazd po naładowaniu baterii – taki tropizm miał pierwszy automatyczny żółw Norberta Wienera).

Zdaniem autora ta funkcja powinna mieć poziom SIL 3 i odpowiednio do tego poziomu dostosowane wymagania EMC, tak by być spełnione wymaganie (2).

Do realizacji bezprzewodowej komunikacji i sterowania należy zastosować protokoły bezpieczne funkcjonalnie spełniające wymagania normy [33] w warunkach poddania narażeniom elektromagnetycznym wynikającym normy [31]. Norma [33] stawia wymaganie, aby intensywność uszkodzeń i błędy resztkowe transmisji były stukrotnie niższe od dopuszczalnych dla przyjętego poziomu nienaruszalności bezpieczeństwa SIL. To wymaganie wprowadza dodatkową odległość falową o wartości 40 dB, która już sama czyni zadość wymaganiu (2).

EMC i cyberataki

Cyberataki czyli celowo wprowadzane do informatycznej sieci telekomunikacyjnej wirusy i zaburzenia nie są *par excellence* tematem kompatybilności elektromagnetycznej. Jednakże one mogą być przenoszone bezprzewodowo i mogą stać się groźnym elementem nacisku na społeczność przyszłości – proszę sobie wyobrazić, że roboty opiekujące się seniorami zamieniają się w „zielone ludziki”. To są powody, że zagadnienie cyberataków nie może być pominięte i jest przedmiotem licznych programów badawczych jak również rozpoczynających się prac normalizacyjnych.

Jest ono jednak poza tematem niniejszego opracowania.

LITERATURA

- [1] Missala T., Safety of robots In a neighborhood of the peoples and the new law of robotics. *Pomiary, Automatyka, Robotyka* 2012, z. 1, s. 48-52.
- [2] Missala T., Paradigms and Safety Requirements for a New Generation of Workplace Equipment. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)* 2014, Vol.20, No2, 249-256.
- [3] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2006/42/WE w sprawie maszyn, zmieniająca dyrektywę 95/16/WE (przekształcenie);
- [4] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/30/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstw Państw Członkowskich odnoszących się do kompatybilności elektromagnetycznej – ważna od 12 kwietnia 2014 r.
- [5] EUproject - RobotDoc – Robotics for Development of Cognition. The Marie Curie doctoral training network in development robotics. <http://robotdog.org>, zidentyfikowano 100 publikacji.
- [6] EUproject - Darwin FP7 270138 – Dextrous Assembler Robot Working with Embodied Intelligence. <http://darwin-project.eu>; zidentyfikowano 29 publikacji.
- [7] EUproject - MACSi - Motor Affective Cognitive Scaffolding for the iCUB. <http://macsi.isir.upmc.fr>; zidentyfikowano 29 publikacji.
- [8] EUproject - EFAA project. <http://efaa.upf.edu/publications>; zidentyfikowano 26 publikacji.
- [9] EUproject - XPERIENCE project.-Robots Bootstrapped Through Learn <http://www.xperience.org>; zidentyfikowano 11 publikacji.
- [10] EUproject - CODYCO project. <http://www.codyco.eu>; zidentyfikowano 22 publikacje.
- [11] EUproject - Emorph project – EVENT-Driven Morphological Computation for Embedded Systems. <http://emorph.eu>; zidentyfikowano 16 publikacji.
- [12] EUproject - CHRIS project. – Cooperative Human Robot Interaction Systems - <http://www.chrisfp7.eu>; zidentyfikowano 108 publikacji.
- [13] EUproject - ITALK project. – Integration and Transfer of Action and Language in Robots. EU FP-7-214668. <http://www.italk.eu>; zidentyfikowano 144 publikacji.
- [14] EUproject - ROBOT FLASH project. <http://lirec.ict.pwr.wroc.pl>; zidentyfikowano 15 publikacji.

- [15] Fontanari J.F., Cross-situational and supervised learning in the emergence of communication. *Interaction Studies*, 12(1), 119-133, 2011.
- [16] Arie H., Endo T., Arakaki T., Sugano S., Tani J., Creating novel goal-directed actions at criticality: *A neuro-robotic experiment. New Mathematical and Natural Computation*, Vol.5, No.1, pp.307-334, 2009.
- [17] Förster F., Nehaniv Ch.R., Sauters J., Robots That Say 'No'. ITALK materials.
- [18] Pitsch K., Kuzuoka H., Suzuki Y., Süßenbach L., Luff P., Heath P., The first five seconds: Contingent stepwise entry into an interaction as a means to secure sustained engagement in HRI. The 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, Toyama, Japan, Sept. 27-Oct. 2, 2009.
- [19] Wasielica M., Wasik M., Kasiński A., Interactive programming of a Humanoid Robot. *Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems (JAMRIS)* v.8 N° 3, 2014, s. 3-9.
- [20] Nowicki M., WiFi-Guided Visual Loop Closure for Indoor Navigation Using Mobile Devices. *Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems (JAMRIS)* v.8 N° 3, 2014, s. 10-18.
- [21] Bigaj P., Bartoszek J., Trojnecki M., The analysis of Influence of Sensor Failure on the Performance of Mobile Robot Autonomy. *Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems (JAMRIS)* v.8 N° 4, 2014, s. 31-39.
- [22] Ambroszkiewicz S., Bartyna W., Skarżyński K., Szymczakowski M., Architektura a fan Autonomous Robot at the IT Level. *Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems (JAMRIS)* v.9 N° 1, 2015, s. 34-40.
- [23] Dunaj J., Klimasara W. J., Pilat Z., Rycerski W., Human-Robot Communication in Rehabilitation Devices. *Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems (JAMRIS)* v.8 N° 2, 2015, s. 9-19.
- [24] Missala T., Model oddziaływań E /MC w gnieździe zrobotyzowanym. Prace VII Krajowego Sympozjum „Kompatybilność elektromagnetyczna w Elektrotechnice i Elektronice” EMC'11, Łódź, 2011 r. i *Przegląd Elektrotechniczny* R.88 Nr 2/2012 s. 1-3.
- [25] Missala T., Kalibracja modelu oddziaływań EMC w gnieździe zrobotyzowanym. *Przegląd Elektrotechniczny* R.90, NR 7/2014 s. 207-209.
- [26] Radioelektryka. *Poradnik inżyniera*. Warszawa 1969 r. WNT
- [27] PN-EN 61000-6-1:2008P, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 6-1: Normy ogólne - Odporność w środowiskach mieszkalnych, handlowych i lekko uprzemysłowionych.
- [28] PN-EN 61000-6-1:2008P, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 6-2: Normy ogólne - Odporność w środowiskach przemysłowych..
- [29] PN-EN 6-000-6-3:2008P/A1:2012P, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 6-3: Normy ogólne – Norma emisji w środowiskach mieszkalnych, handlowych i lekko uprzemysłowionych.
- [30] PN-EN 61000-6-4:2008P/A1:2012P, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 6-4: Normy ogólne - Norma emisji w środowiskach przemysłowych.
- [31] PN-EN 61326-3-1:2010P, Wyposażenie elektryczne do pomiarów, sterowania i użytku w laboratoriach. Wymagania dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej EMC) – Część 3-1: Wymagania odporności dotyczące systemów związanych z bezpieczeństwem i wyposażenia przeznaczonego do wypełniania funkcji związanych z bezpieczeństwem (bezpieczeństwo funkcjonalne) -- Ogólne zastosowania przemysłowe.
- [32] Missala T., Środowisko współdziałania ludzi i robotów – jak zapewnić bezpieczeństwo. *Napędy i sterowanie*, 2015, z.3, s.140-146.
- [33] PN-EN 61784-3-1:2010E, Przemysłowe sieci komunikacyjne -- Profile -- Część 3: Magistrale miejscowe bezpieczne funkcjonalnie -- Ogólne zasady i definicje profili.
- [34] Kisielewicz T., Mazzetti C., Lo Piparo G.B., Kuca B., Flisowski Z., Lightning electromagnetic pulse (LEMP) influence on the electrical apparatus protection. *Przegląd Elektrotechniczny* R. 90 Nr 1/2014, s. 1-4.

Autor: prof. dr inż. Tadeusz Missala, Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP, Al. Jerozolimskie 202, 02-486 Warszawa, E-mail: tmissala@piap.pl