

Marek Dźwiarek  
CIOP-PIB, Warszawa

## BEZPIECZEŃSTWO UTRZYMANIA RUCHU W PRZEMYSŁE 4.0 – PROCEDURY LOTO

### SAFETY OF MAINTENANCE WORK IN INDUSTRY 4.0 - LOTO PROCEDURES

**Streszczenie:** Problem bezpieczeństwa w systemach produkcyjnych Przemysłu 4.0 ma charakter wielowymiarowy. Nowe technologie generują nowe rodzaje zagrożeń, ale jednocześnie umożliwiają budowę bardziej efektywnych systemów bezpieczeństwa. Systemy LOTO to zbiór specjalnych procedur i praktyk mających na celu ochronę pracowników przed energią uwalnianą przez pracujące maszyny lub zagrożeniami występującymi podczas bieżących czynności obsługowych. Celem badań było opracowanie wytycznych i materiałów szkoleniowych wspierających wdrażanie procedur LOTO w Przemysłu 4.0. Wymagało to przeprowadzenia analizy 5 wybranych inteligentnych systemów produkcyjnych Przemysłu 4.0 w celu identyfikacji zagrożeń, które mogą wystąpić podczas prac konserwacyjnych. Analizowane były systemy produkcyjne takie jak maszyny współpracujące bezpośrednio z operatorem, automatyka przemysłowa sterowana za pośrednictwem IoT, systemy produkcyjne wykorzystujące algorytmy sztucznej inteligencji itp. Opracowane wytyczne i materiały szkoleniowe zostały zweryfikowane podczas szkolenia pilotażowego. W ankietach dotyczących wytycznych i materiałów szkoleniowych znalazły się wypowiedzi dotyczące ich zawartości, użyteczności oraz kompleksowości i kompletności. W ankiecie wykorzystano 5-punktową skalę Likerta. Następnie dokonano oceny wskaźnika ważności treści określając I-CVI i S-CVI. Do oceny istotności statystycznej wybrano test parametryczny wartości średniej jednej zmiennej z prawostronną hipotezą alternatywną *t-studenta*. Wyznaczono również prawdopodobieństwo testowe *p-value*. Opracowane wytyczne wraz z materiałami szkoleniowymi stanowią podstawę do wdrażania systemu LOTO w przedsiębiorstwie.

**Abstract:** The problem of safety in Industry 4.0 production systems is multidimensional. New technologies generate new types of hazards, but at the same time make it possible to build more effective safety systems. LOTO systems are a set of special procedures and practices designed to protect workers from energy released by running machinery or hazards that occur during ongoing maintenance activities. The goal of the research was to develop guidelines and training materials to support the implementation of LOTO procedures in Industry 4.0. This required analyzing 5 selected Industry 4.0 intelligent manufacturing systems to identify hazards that may occur during maintenance operations. Production systems such as machines that work directly with the operator, industrial automation controlled via the Internet of Things, production systems using artificial intelligence algorithms, etc. were analyzed. The developed guidelines and training materials were verified during the pilot training. Surveys of the guidelines and training materials included statements regarding their content, usability and comprehensiveness and completeness. The survey used a 5-point Likert scale. The content validity index was then evaluated by determining the I-CVI and the S-CVI. A parametric test of the mean value of one variable with a right-sided alternative hypothesis of *t-student* was chosen to assess statistical significance. A *p-value* test probability was also determined. The developed guidelines, with training materials, form the basis for implementing the LOTO system at the enterprise.

**Słowa kluczowe:** bezpieczeństwo maszyn, utrzymanie ruchu, LOTO, przemysł 4.0

**Keywords:** safety of machinery, maintenance, LOTO, Industry 4.0

### 1. Wstęp

Pod pojęciem Przemysłu 4.0 kryje się nowa rzeczywistość współczesnej gospodarki, wykorzystującej postęp w transformacji cyfrowej i rosnące wzajemne powiązania. Stawia to nowe wyzwania [1] technologiczne. Systemy produkcyjne Przemysłu 4.0 charakteryzują się wykorzystaniem systemów cyber-fizycznych (CPS), opartych na heterogenicznej integracji danych

i wiedzy. Najistotniejszymi elementami Przemysłu 4.0 są [2]:

- systemy cyber-fizyczne,
- Internet Rzeczy,
- Internet Usług, i
- inteligentna fabryka.

W miarę jak czwarta rewolucja przemysłowa, czyli Przemysł 4.0, staje się dominującą rzeczywistością, powoduje nowe zmiany paradygma-

tów, które będą miały wpływ na zarządzanie bezpieczeństwem i higieną pracy (BHP).

Przemysł zaczyna wykorzystywać pozytywny wpływ na reaktywność, autonomię i elastyczność zakładów produkcyjnych. Jednak żadna modyfikacja przemysłowego systemu produkcyjnego nie powinna być wdrażana bez szczegółowego omówienia potencjalnych skutków dla zdrowia i bezpieczeństwa pracowników. Zaażansowane procesy produkcyjne mogą generować nowe zagrożenia dla zdrowia i bezpieczeństwa, ale konwencjonalne narzędzia analizy ryzyka zawodowego wydają się niezdolne do identyfikacji tych pojawiających się zagrożeń. W ostatnim czasie rozwój inteligentnych czujników, IoT, CPS i postępy w informatyce doprowadziły do licznych prób zastosowania ich w BHP. Podgórski i wsp. [3] ujawniają szeroki zakres środków ochrony indywidualnej, które wykorzystują te technologie. Dźwiarek w [4, 5, 6] przedstawił zastosowania systemów lokalizacji w różnych obszarach BHP

Widzimy więc, że problem bezpieczeństwa w systemach produkcyjnych Przemysłu 4.0 ma charakter wielowymiarowy. Z jednej strony nowe technologie generują nowe rodzaje zagrożeń, ale jednocześnie umożliwiają budowę bardziej efektywnych systemów bezpieczeństwa. Prace w tym zakresie prowadzone są w wielu ośrodkach na świecie, ale wszyscy podkreślają że są one jeszcze w fazie początkowej.

## 2. Lockout/Tagout – systemy LOTO

Systemy Lockout/Tagout (LOTO) to zbiór specjalnych procedur i praktyk mających na celu ochronę pracowników przed energią uwalnianą przez pracujące maszyny lub zagrożeniami występującymi podczas bieżących czynności obsługowych [7]. Badania z obszaru stosowania systemów LOTO dotyczą głównie analiz wypadków spowodowanych niewłaściwym stosowaniem tych procedur, analiz wdrażania systemu LOTO oraz optymalizacji systemów produkcyjnych wykorzystujących mechanizm LOTO. Wdrożenie systemu LOTO nie jest trudne, ale często przemysł ma z nim problemy, które wynikają głównie z błędów ludzkich w przeprowadzaniu procedury i prowadzą do awarii w działaniu systemu [8].

Procedury LOTO (lockout/tag out) mają za zadanie zapewnienie bezpieczeństwa pracowników wykonujących prace serwisowe. Procedury te są obowiązkowe w USA i Kanadzie. Według dostępnych danych OSHA w 2014 r. odnoto-

wano w USA 3 254 przypadki naruszeń w systemach typu LOTO, co oznacza, że jest to szósty najczęściej naruszany przepis. Przyczynami naruszeń były najczęściej:

- brak opracowania, udokumentowania lub wykorzystania procedur kontroli energii sprzętu,
- nieprzestrzeganie okresowych procedur kontroli,
- brak ustanowienia i wdrożenia pisemnego programu LOTO.
- brak szkolenia.
- brak technicznych możliwości blokowania urządzeń odłączających energię.

Zaprezentowane powyżej sposoby podejścia do problematyki LOTO obejmują szeroki obszar kwestii związanych ze stosowaniem tych systemów. W oczywisty sposób dotyczą one klasycznych systemów wytwórczych. Brak jest natomiast doniesień o pracach dotyczących problematyki LOTO w przemyśle 4.0.

Specyfika rozwiązań Przemysłu 4.0 znacznie różni się od tradycyjnych systemów zautomatyzowanych, w których wszystkie maszyny są zamknięte i maksymalnie osłonięte. Stosowane obecnie procedury LOTO wykorzystują te obudowy do blokowania niepożądanych przełączeń źródeł energii podczas prac konserwacyjnych. Maszyny współpracujące z człowiekiem nie mają obudów i osłon, a bezpieczeństwo zapewniają im inne metody. Powoduje to, że tradycyjne rozwiązania systemu LOTO są nieskuteczne. Służby utrzymania ruchu stają więc przed problemem, jak zapewnić bezpieczeństwo pracownikom przy pomocy innych systemów odłączania i blokowania źródeł energii niż dotychczas stosowane. Rozwiązanie tego problemu wymaga zupełnie nowych prac badawczych.

## 3. Cel i metodyka badań

Celem badań było opracowanie wytycznych i materiałów szkoleniowych wspierających wdrażanie procedur LOTO w Przemysle 4.0.

Opracowanie wytycznych do wdrożenia procedur LOTO wymagało analizy 5 wybranych inteligentnych systemów produkcyjnych Przemysłu 4.0 w celu identyfikacji zagrożeń, które mogą wystąpić podczas prac konserwacyjnych.

Analizowane były systemy produkcyjne takie jak maszyny współpracujące bezpośrednio z operatorem, automatyka przemysłowa sterowana za pośrednictwem Internetu Rzeczy, systemy produkcyjne wykorzystujące algorytmy sztucznej inteligencji itp. Analiza miała na celu zidentyfikowanie istotnych źródeł energii w tych

systemach wraz z analizą możliwości rozłączenia i rozładowania nagromadzonej energii w sytuacji braku możliwości odseparowania pracowników przez wygradzenia. Następnie przeanalizowane były systemy ochronne stosowane w Przemysle 4.0 w aspekcie ich skuteczności przy wykonywaniu prac konserwacyjnych. Określono metody odłączania i blokowania źródeł energii sterowanych z wykorzystaniem IoR, a także w systemach robotów współpracujących i systemów sterowanych z wykorzystaniem sztucznej inteligencji. Wyniki przeprowadzonych analiz stanowiły podstawę do określenia procedur LOTO krok po kroku oraz list kontrolnych do stosowania przez służby utrzymania ruchu. Następnie opracowano bibliotekę wzorów procedur LOTO oraz wzory dokumentów, które należy stosować w celu udokumentowania stosowania tych procedur. Opracowane wytyczne i materiały szkoleniowe zostały zweryfikowane podczas szkolenia pilotażowego. W ankietach dotyczących "Wytycznych" i materiałów szkoleniowych znalazły się wypowiedzi dotyczące ich:

- zawartości,
- użyteczności oraz
- kompleksowości i kompletności.

W ankiecie wykorzystano 5-punktową skalę Likerta [9]. Następnie dokonano oceny wskaźnika ważności treści (CVI) [10], określając:

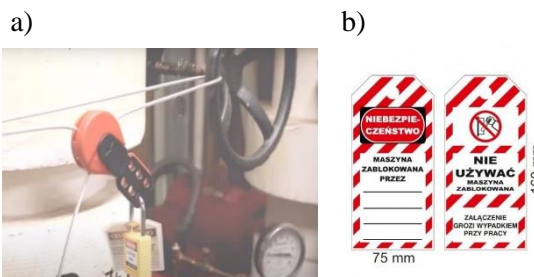
- wskaźnik ważności treści (content validity index) dla pozycji (I\_CVI) [10],
- wskaźnik ważności treści dla skali (S\_CVI) [11].

Zazwyczaj przyjmuje się, że wartości I\_CVI większe niż 0,78 i S\_CVI większe niż 0,9 potwierdzają doskonałą trafność treściową ocenianych materiałów [12]. Do oceny istotności statystycznej wybrano test parametryczny wartości średniej jednej zmiennej z prawostronną hipotezą alternatywną *t-studenta*. Zmienną losową była liczba odpowiedzi o określonej wartości w skali Likerta. Wyznaczono również prawdopodobieństwo testowe *p-value*, wskazujące na prawdopodobieństwo błędnego odrzucenia hipotezy zerowej i przyjęcia hipotezy alternatywnej.

#### 4. Wyniki badań

Lockout & Tagout (LOTO) [12] jest metodą zapobiegania niepożądanemu uwolnieniu energii, co mogłoby spowodować zagrożenia dla pracowników wykonujących prace serwisowo-naprawcze. Dotyczy to wszelkich rodzajów energii, a zwłaszcza energii:

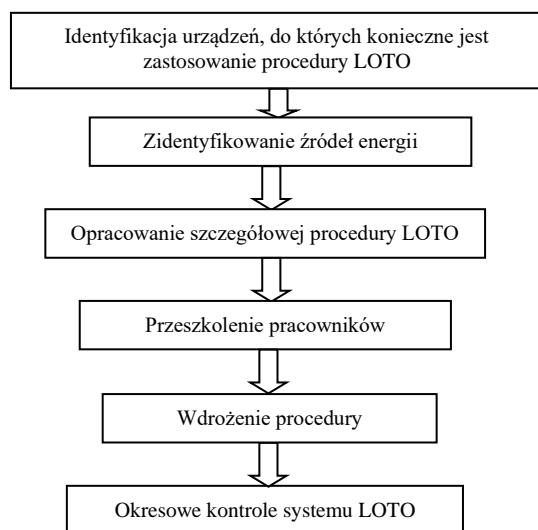
- elektrycznej,
- mechanicznej,
- pneumatycznej,
- chemicznej,
- termicznej i
- grawitacyjnej.



Rys. 1. Urządzenia do blokowania i oznaczania: blokada linkowa: a) przód, b) etykieta.

Najpowszechniejszym źródłem informacji o procedurach LOTO jest decyzja amerykańskiej Occupational Safety and Health Administration (OSHA) [7] o kontroli energii niebezpiecznej (Lockout & Tagout) 29 CFR, sekcja 1910.147. Przepis ten pomaga chronić pracowników przed niebezpieczną energią podczas wykonywania czynności serwisowych lub konserwacyjnych na maszynach i urządzeniach poprzez określenie praktyk i procedur niezbędnych do wyłączenia i zablokowania lub przecięcia maszyn i urządzeń. Odbywa się to w ten sposób, że wyznaczona osoba wyłącza i odłącza maszyny lub urządzenia od ich źródeł energii przed wykonaniem czynności serwisowych lub konserwacyjnych oraz upoważniony pracownik blokuje i oznacza urządzenie oddzielające energię w celu zapobieżenia uwolnieniu niebezpiecznej energii i podejmuje kroki w celu sprawdzenia, czy energia została skutecznie odizolowana. Przykłady urządzeń wykorzystywanych do blokowania odłączonych źródeł energii i ich oznakowania pokazano na rys. 1.

Jednak, aby było skuteczne musi zostać właściwie użyte. Wymaga to wprowadzenia w przedsiębiorstwie procedur postępowania mających na celu zapewnienie odcięcia dopływu energii do maszyn i umieszczenie odpowiednich urządzeń blokujących lub ostrzegających na urządzeniach odcinających energię, aby zapobiec nieoczekiwanemu ponownemu włączeniu zasilania. W stosownych przypadkach procedura ta musi również dotyczyć energii zmagazynowanej lub potencjalnie skumulowanej ponownie. Na rys. 2 pokazana jest ogólna procedura postępowania przy wdrażaniu procedur LOTO.



Rys. 2. Ogólna procedura postępowania przy wdrażaniu LOTO

Szczególnie istotne jest właściwe opracowanie szczegółowych procedur postępowania krok po kroku przy przygotowaniu prac serwisowych. W każdym przypadku należy pamiętać o konieczności dokumentowania wykonania procedury LOTO. Pomocne w tym mogą być opracowane listy kontrolne i wzory dokumentów. Wyniki przeprowadzonych analiz stanowiły podstawę do określenia procedur LOTO krok po kroku oraz list kontrolnych do stosowania przez służby utrzymania ruchu. Przeprowadzone analizy systemów produkcyjnych Industry 4.0 wykazały, że wymagania dotyczące procedur LOTO różnią się od tych stosowanych w systemach klasycznych. Różnice te polegają głównie na wprowadzeniu dodatkowych kroków, wynikających ze specyfiki systemów CPS.

Następnie uzyskane rezultaty zostały zebrane w postaci wytycznych dotyczących stosowania procedur LOTO w systemach wytwórczych przemysłu 4.0. Opracowano także materiały szkoleniowe dla służb utrzymania ruchu. Materiały te ukierunkowane są na szkolenia okresowe pracowników służb utrzymania ruchu. Wytyczne uwzględniają wskazanie specyfiki zagrożeń występujących w inteligentnych systemach wytwórczych Przemysłu 4.0. Zostały one opracowane w odniesieniu do klasycznych systemów LOTO, ze wskazaniem różnic i obszarów wspólnych. W wytycznych wskazano techniczne środki zapewniające bezpieczeństwo podczas prac konserwacyjno/naprawczych w odniesieniu do specyfiki rozwiązań Przemysłu 4.0. Wskazano także zalecenia dotyczące zarządzania bezpieczeństwem podczas takich prac, ze szczególnym

uwzględnieniem środków organizacyjnych, takich jak dopuszczenia do pracy, praca w zespołach, szkolenia. Zasady przedstawione w „Wytycznych” stanowiły podstawę do opracowania materiałów szkoleniowych dla służb utrzymania ruchu. Materiały te ukierunkowane są na szkolenia okresowe pracowników służb utrzymania ruchu. Mają one postać prezentacji przeznaczonej do omówienia w trakcie szkolenia. W materiałach uwzględniono problematykę:

- czym są systemy LOTO.
- urządzenia LOTO.
- wdrażanie systemu LOTO w przedsiębiorstwie.
- szczegółowa procedura postępowania LOTO.
- przykłady procedur LOTO w Przemysłu 4.0.

## 5. Walidacja opracowanych materiałów

Opracowane materiały szkoleniowe i wytyczne zostały poddane ocenie przez grupę specjalistów po uprzednim zaprezentowaniu na szkoleniu pilotażowym. Informacja o szkoleniu pilotażowym, została wysłana do członków sieci ekspertów BHP certyfikowanych przez CIOP-PIB. Zaangażowanie wykazało ponad 90 osób z różnych firm z całej Polski. Zarówno wytyczne, jak i materiały szkoleniowe zostały ocenione bardzo wysoko. Średnia ocena w skali Likerta przekroczyła 4,4 dla każdej pozycji. Wskaźnik I-CVI w większości przyjął wartość 1, a najmniejsza wartość wyniosła 0,92. Wskaźniki statystyczne również potwierdziły wysoką ocenę wytycznych. Wartość statystyki testu *t-studenta* w każdym przypadku przekraczała wartość krytyczną testu, a prawdopodobieństwo testowe było mniejsze niż 0,01. Natomiast S-CVI miał wartość 0,99, przy  $t = 9,00$ ,  $p\text{-value} = 0,0006$ .

## 6. Podsumowanie

Przeprowadzone analizy systemów wytwórczych Przemysłu 4.0 wykazały, że wymagania dotyczące procedur LOTO różnią się od procedur stosowanych w systemach klasycznych. W każdym przypadku należy jednak pamiętać o konieczności dokumentowania wykonania procedury LOTO. Pomocne w tym mogą być opracowane listy kontrolne i wzory dokumentów. Podstawowe dokumenty, które powinny być stosowane w przedsiębiorstwie to:

- instrukcja bezpiecznego wyłączania, opracowana dla każdej maszyny lub zespołu maszyn,

- lista osób przeszkolonych i upoważnionych do wykonania procedury LOTO, dotyczy także wykonawców zewnętrznych,
- rejestr wykonywanych prac.

Opracowane „Wytyczne do stosowania procedur LOTO w systemach wytwórczych Przemysłu 4.0” wraz z materiałami szkoleniowymi „Bezpieczeństwo maszyn w Przemysle 4.0 – procedury Lockout/Tagout” stanowią podstawę do wdrażania systemu LOTO w przedsiębiorstwie. Ich wysoka jakość merytoryczna potwierdzona została w trakcie szkolenia pilotażowego. Uczestnicy szkolenia podkreślali, że wytyczne i materiały są użyteczne, ale w przypadku ich wykorzystania w praktyce konieczne jest uwzględnienie uwarunkowań technicznych, organizacyjnych a także stanu świadomości załogi.

## 7. Literatura

- [1]. B. Ślusarczyk “Industry 4.0 – are we ready?”  
 [2]. Consortium II. Fact Sheet, 2013. Dostępne z: [http://www.iiconsortium.org/docs/IIC\\_FACT\\_SHEET.pdf](http://www.iiconsortium.org/docs/IIC_FACT_SHEET.pdf).  
 [3]. Podgórski, D., Majchrzycka, K., Dąbrowska, A., Gralewicz, G., Okrasa, M. “Towards a conceptual framework of OSH risk management in smart working environments based on smart PPE, ambient intelligence and the Internet of Things technologies”. *Int. J. Occup. Safte. Ergon.* 23, 1 (2017): s. 1–20.  
 [4]. Dźwiarek, M. “Real Time Location Systems for monitoring safety of the machine operators”. *Safety of Industrial Automated Systems 2015*. 18-20.11. 2015, Königswinter, Niemcy. ISBN 987-3-86423-163-6. s. 153 – 156.  
 [5]. Dźwiarek, M., Strawiński, T., Łempiński, T., Światowski, M. „The simulation of the use of personal protective equipment in investigation of Smart ID Card system efficiency”, *Journal of KONBIN*. 43 (2017): s. 163 – 178, DOI 10.1515/jok-2017-0045.  
 [6]. Dźwiarek, M., Łempiński T., Światowski. M. “Effectiveness investigation of the correlation algorithms applied in a Smart ID Card system to monitor

the use of PPE”. in: *Safety and Reliability – Safe Societies in a Changing World*. Stein Haugen at. all (eds.) © Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-351-17466-4, (2018): s.1965 – 1971.

[7]. OSHA. Control of hazardous energy (Lockout/Tagout), U.S. Department of Labor & Occupational Safety and Health Administration, 2002. <https://www.osha.gov/control-hazardous-energy/>

[8]. Campbell, T. LOTO remains problematic. *Professional Safety*, Vol 48(3), 2003: pp. 48-51.

[9]. Alan C. Elliott, Wayne A. Woodward. *Statistical analysis quick reference guidebook. With SPSS examples*. (2007) DOI: 10.4135/9781412985949.

[10]. Lynn, M.R. Determination and quantification of content validity. *Nurse Research* (1986), Vol. 35, ISSU 6, pp. 382–385.

[11]. Waltz, C.F.; Strickland, O.L.; Lenz, E.R. *Measurement in Nursing and Health Research*, 3rd ed.; Springer Publishing Company: New York, NY, USA, 2005.

[12]. Polit, D.F., Beck, C.T. The content validity index: Are you sure you know what’s being reported? Critique and recommendations. *Res. Nurs. Health* 2006, Vol. 29, pp. 489–497.

## Autor

Marek Dźwiarek, tel. 22 623 46 35, e-mail: [madzw@ciop.pl](mailto:madzw@ciop.pl)

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy. ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa.

## Informacje dodatkowe

*Opracowano i wydano na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” finansowanego w zakresie służb państwowych ze środków Ministerstwa Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej. zadanie nr 3.SP09 pt:*

*Opracowanie metodyki stosowania systemów lockout/tagout w systemach wytwórczych Przemysłu 4.0.*

*Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy*