

Marek Dźwiarek

WYTYCZNE

do stosowania procedur LOTO
w systemach wytwórczych

Przemysłu 4.0



Materiały informacyjne CIOP-PIB

Wytyczne do stosowania procedur LOTO w systemach wytwórczych Przemysłu 4.0

Opracowano i wydano na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rodziny i Polityki Społecznej.

Koordinator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Zadanie 3.SP.09: Opracowanie metodyki stosowania systemów lockout/tagout w systemach wytwórczych Przemysłu 4.0

Autor:

dr hab. inż. Marek Dźwiarek, prof. Instytutu – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Techniki Bezpieczeństwa

Zdjęcie na okładce: bigstock/12786

Opracowanie redakcyjne:

Monika Piech-Rzymowska

© Copyright by

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Warszawa 2022

CIOP  **PIB**

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa

tel. (48-22) 623 36 98, www.ciop.pl

1. Wprowadzenie

1.1. Przemysł 4.0

Koncepcja Przemysłu 4.0 to nowa rzeczywistość współczesnej gospodarki, gdyż postępy w transformacji cyfrowej i rosnące wzajemne połączenia stanowią nowe wyzwania dla wielu organizacji [[1]]. Została ona zapoczątkowana w Niemczech w 2011 r. [[2], [3]]. Jej cechy charakterystyczne to wykorzystanie systemów cyber-fizycznych (CPS), opartych na heterogenicznej integracji danych i wiedzy. Zgodnie z Consortium II, Fact Sheet [[4]], Przemysł 4.0 to „integracja złożonych fizycznych maszyn i urządzeń z czujnikami i oprogramowaniem sieciowym, używanych do przewidywania, kontroli i planowania lepszych wyników biznesowych i społecznych”. Hermann i in. [[5]] definiują Przemysł 4.0 jako „zbiorcze określenie technologii i koncepcji organizacji łańcucha wartości”. Zauważają, że w ramach modułowej struktury inteligentnej fabryki w Przemysle 4.0 – CPS monitoruje procesy fizyczne, tworzy wirtualną kopię świata fizycznego i podejmuje zdecentralizowane decyzje. Zwracają także uwagę na to, że za pośrednictwem Internetu Rzeczy (IoT) CPS komunikuje się i współdziała ze sobą oraz ludźmi w czasie rzeczywistym, a Internet Usług (IoS) zarówno wewnętrzny, jak i międzyorganizacyjny jest oferowany i wykorzystywany przez uczestników łańcucha wartości. Jak dotąd nie ma przyjętej jednomyślnie definicji Przemysłu 4.0. Możemy jednak wskazać na jego najistotniejsze komponenty, które odróżniają go od nadal jeszcze powszechnych zautomatyzowanych systemów produkcyjnych (trzecia rewolucja przemysłowa w latach 1980-1985). Według Kagermanna [6] są to:

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

Natomiast komunikacja maszyna-maszyna (M2M) i inteligentne produkty nie są niezależnymi komponentami Przemysłu 4.0, gdyż M2M jest elementem Internetu Rzeczy, a Inteligentne Produkty są elementem CPS. Natomiast za Kagermannem [[6]] data mining i przetwarzanie w chmurze należy traktować jako usługi dla systemów, które wykorzystują dane generowane we wdrożeniach Przemysłu 4.0, ale nie jako jego niezależne komponenty.

Rozwój przemysłu jest zintegrowanym złożonym procesem ewolucji wzajemnych powiązań między człowiekiem a maszyną [2]. Przemysł 4.0 przyczynia się do zwiększenia komputeryzacji produkcji

za pomocą CPS, w którym połączone sieci ludzi i maszyn współdziałają i współpracują ze współdzielonymi oraz analizowanymi informacjami, wspieranymi przez duże zbiory dane i przetwarzanie w chmurze wzdłuż całych łańcuchów wartości [7]. W Przemysle 4.0 produkcja staje się bardziej elastyczna i efektywna [[5], 8, 9], a także zwiększa się efektywność kosztowa i czasowa oraz poprawia jakość produkcji przez stosowanie nowoczesnych technologii, metod i narzędzi wspomagających [10]. W rezultacie wykorzystanie Przemysłu 4.0 przyspieszy rozwój przez umożliwienie osiągnięcia bezprecedensowego poziomu efektywności operacyjnej i wzrostu wydajności [[5], 8, 11]. Można założyć, że niebawem pojawią się nowe rodzaje zaawansowanych procesów produkcyjnych i przemysłowych opartych na współpracy między maszynami i ludźmi oraz symbiotycznej realizacji produktów.

1.2. Bezpieczeństwo pracy w Przemysle 4.0

Wykorzystanie technologii Przemysłu 4.0 zakłada wzrost wydajności przez integrację cyfrowych systemów produkcji z analizą i komunikacją wszystkich danych generowanych w inteligentnym środowisku. Komunikacja w czasie rzeczywistym, duże zbiory danych, współpraca człowiek-maszyna, teledetekcja, monitoring i sterowanie procesem, autonomiczne urządzenia i połączenia międzysystemowe stają się głównymi atutami nowoczesnego przemysłu. Jako że czwarta rewolucja przemysłowa, czyli Przemysł 4.0 staje się dominującą rzeczywistością, przyniesie nowe zmiany paradygmatu, które będą miały wpływ na zarządzanie bezpieczeństwem i higieną pracy [12]. Przemysł zaczyna wykorzystywać pozytywny wpływ na zdolność reagowania, autonomię i elastyczność zakładów produkcyjnych. Ma to na celu zaspokojenie ludzkich potrzeb, które podlegają nieustannemu różnicowaniu. Jednak żadna modyfikacja przemysłowego systemu produkcji nie powinna być rozważana bez szczegółowego omówienia potencjalnych skutków dla zdrowia i bezpieczeństwa pracowników. Przedsiębiorstwa, które wdrażają inteligentne fabryki, dążą do: ograniczenia ryzyka związanego z planowaniem, określenia skutków nowej instalacji dla pracowników, uniknięcia konieczności przeprojektowania sprzętu, zoptymalizowania wykorzystania zasobów, wyeliminowania marnotrawstwa oraz zwiększenia wydajności i elastyczności [13-15]. Analizy te nie muszą oznaczać korzyści w zakresie BHP, zwłaszcza w przypadku radykalnej zmiany organizacji pracy [16-19]. Zaawansowane procesy produkcyjne mogą generować nowe zagrożenia w zakresie BHP, ale konwencjonalne narzędzia analizy ryzyka zawodowego wydają się niezdolne do identyfikacji tych pojawiających się zagro-

zeń. Często produkcja w Przemysle 4.0 jest klasyfikowana jako krytyczna pod względem bezpieczeństwa np. z powodu interakcji między autonomicznymi maszynami a substancjami niebezpiecznymi, które mogą spowodować obrażenia lub śmierć człowieka, uszkodzenie maszyn, mienia lub środowiska. W celu wykazania dopuszczalnego bezpieczeństwa operacji produkcyjnych kwestie bezpieczeństwa powinny być tak opracowane, aby stanowiły kompleksowe, logiczne i dające się obronić uzasadnienie bezpieczeństwa systemu produkcyjnego dla danego zastosowania w uprzednio zdefiniowanym środowisku pracy. Jednak budowa i utrzymanie systemów bezpieczeństwa w przedsiębiorstwie Przemysłu 4.0 jest zadaniem złożonym. W celu ich budowy oprócz modułowej, dynamicznej i konfigurowalnej natury Przemysłu 4.0 należy uwzględnić architekturę IoT i chmury obliczeniowej. Założenia dotyczące bezpieczeństwa postawione na etapie projektowania i rozwoju systemu mogą okazać się nieaktualne podczas operacji produkcyjnych, co wymaga pewnych środków dynamicznego zapewnienia bezpieczeństwa.

W Przemysle 4.0 ważnym rozwiązaniem jest współpraca człowieka z robotem. Dzięki nowym technologiom i coraz inteligentniejszym systemom sterowania maszynami i robotami współpraca człowieka z maszyną stała się łatwiejsza. W inteligentnej fabryce przyszłości roboty pracują ramię w ramię z ludźmi i wspierają ich, gdy zachodzi potrzeba. Jednak w praktyce realizacja stanowisk pracy opartych na współpracy człowieka z robotem nie jest tak łatwa. Projektowanie miejsc pracy opartych na współpracy stwarza również zupełnie nowe wyzwania w zakresie bezpieczeństwa pracownika. Jak można wnioskować, problem bezpieczeństwa w systemach produkcyjnych Przemysłu 4.0 ma charakter wielowymiarowy. Z jednej strony nowe technologie generują nowe rodzaje zagrożeń, ale z drugiej umożliwiają budowę bardziej efektywnych systemów bezpieczeństwa.

2. Systemy LockOut/TagOut (LOTO)

Systemy Lockout/Tagout (LOTO) to zestaw specjalnych procedur i praktyk mających na celu ochronę pracowników przed energią uwalnianą przez obsługiwane maszyny lub zagrożeniami występującymi podczas bieżących czynności konserwacyjnych i utrzymania ruchu [20]. Wdrożenie systemu LOTO nie jest trudne, ale często przemysł ma problemy z jego wdrożeniem. Są to problemy, które pojawiają się głównie z powodu błędów ludzkich w prowadzeniu procedury i prowadzą do awarii pracy systemu [21-24].

Procedury LOTO mają za zadanie zapewnienie bezpieczeństwa pracownikom wykonującym prace serwisowe. Procedury te są obowiązkowe w USA i Kanadzie. Według dostępnych danych OSHA w 2014 r. odnotowano w USA 3 254 przypadki naruszeń w systemach typu LOTO, co oznacza, że jest to szósty najczęściej naruszany przepis. Przyczynami naruszeń były najczęściej:

1. Brak opracowania, udokumentowania lub wykorzystania procedur kontroli energii sprzętu.
2. Nieprzestrzeganie okresowych procedur kontroli.
3. Brak ustanowienia i wdrożenia pisemnego programu LOTO.
4. Brak szkolenia.
5. Brak technicznych możliwości blokowania urządzeń odłączających energię.

Natomiast dyrektywa maszynowa 2006/42/WE stanowi:

Załącznik I, pkt 1.1.2, a):

„Maszyna musi być zaprojektowana i wykonana w taki sposób, aby nadawała się do wykonywania swojej funkcji oraz mogła być obsługiwana, regulowana i konserwowana bez narażenia osób na ryzyko w trakcie wykonywania tych czynności”.

Podobnie, dyrektywa 2009/104/WE wymaga:

Załącznik I, pkt 2.13:

„Musi być możliwe przeprowadzanie prac konserwacyjnych podczas postoju maszyny. Jeżeli jest to niemożliwe, to musi być możliwość podjęcia odpowiednich środków ochronnych w celu przeprowadzenia takich prac lub takie prace są przeprowadzane poza strefami niebezpiecznymi”.

W każdym szczególnym przypadku zapisy te wymagają właściwej interpretacji. Może być w tym pomocne zastosowanie procedur LOTO.

Według danych GUS w latach 2005-2015 przy wykonywaniu prac serwisowych (Proces pracy – kod 51, 52) corocznie miało miejsce ok. 50 wypadków śmiertelnych, ok. 100 wypadków ciężkich i ok. 10 tys. wypadków lekkich.

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 Przemysle 4.0.

Specyfika rozwiązań zastosowanych w Przemysle 4.0 w istotny sposób odbiega od tradycyjnych systemów zautomatyzowanych, w których wszelkie maszyny są w miarę możliwości jak najbardziej

wygradzone i osłonięte. Aktualne procedury LOTO wykorzystują te wygradzenia do blokowania niepożądanego włączania źródeł energii podczas prac naprawczo-konserwacyjnych. W przypadku Przemysłu 4.0 do sterowania maszynami stosowane są rozwiązania IoT. Maszyny współpracujące z człowiekiem nie mają wygradzeń i osłon, a bezpieczeństwo zapewniane jest innymi metodami. Powoduje to, że tradycyjne rozwiązania systemów LOTO będą nieskuteczne. Tak więc służby utrzymania ruchu stają przed problemem, jak zapewnić bezpieczeństwo pracownikom innymi niż dotychczas stosowane systemami odłączania i blokowania źródeł energii. Niniejsze „Wytyczne do stosowania procedur LOTO w systemach wytwórczych Przemysłu 4.0” mają na celu wspomaganie służb utrzymania ruchu w rozwiązaniu tego problemu.

Lockout & Tagout (LOTO) [25] 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,
- grawitacyjnej.

Najpowszechniejszym źródłem informacji o procedurach LOTO jest decyzja amerykańskiej Occupational Safety and Health Administration (OSHA) [20] 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 przez określenie praktyk oraz procedur niezbędnych do wyłączenia i zablokowania lub przeciążenia maszyn oraz 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, a upoważniony pracownik blokuje i oznacza urządzenie oddzielające energię, aby zapobiec uwolnieniu niebezpiecznej energii, oraz podejmuje właściwe kroki w celu sprawdzenia, czy energia została skutecznie odizolowana.

3. Urządzenia LOTO

W celu skutecznego zablokowania urządzeń odłączających i pozostawienia w pozycji bezpiecznej lub wyłączonej wykorzystuje się urządzenia blokujące, które, zapobiegając zasilaniu maszyn lub urządzeń, zapewniają ochronę. Stanowią one pozytywne urządzenia zabezpieczające, których nikt nie może usunąć bez klucza czy innego mechanizmu odblokowującego lub za pomocą nadzwyczajnych środków (narzędzi takich jak przecinaki do śrub). Natomiast urządzenia typu Tagout są urządzeniami ostrzegawczymi, które upoważniony pracownik mocuje na urządzeniach oddzielających energię, aby ostrzec pracowników przed ponownym włączeniem maszyny w czasie, gdy jest ona serwisowana. Urządzenia Tagout są łatwiejsze do usunięcia, lecz zapewniają pracownikom mniejszą ochronę niż urządzenia blokujące.

Niezależnie od tego, czy stosowane są urządzenia blokujące, czy oznakowanie – muszą one być jedynymi urządzeniami stosowanymi w połączeniu z urządzeniami izolującymi energię w celu kontroli niebezpiecznej energii. Pracodawca jest zobowiązany zapewnić te urządzenia, muszą one być pojedynczo zidentyfikowane i nie mogą być one używane do innych celów. Ponadto muszą one być:

- wystarczająco odporne na warunki występujące w miejscu pracy; urządzenia typu Tagout nie mogą ulec zniszczeniu lub stać się nieczytelne nawet w przypadku stosowania składników wywołujących korozję, takich jak kwas czy zasadowe substancje chemiczne lub w środowisku wilgotnym;
- ustandaryzowane co do koloru, kształtu lub rozmiaru; urządzenia Tagout również muszą być ustandaryzowane co do druku i formatu, tagi muszą być czytelne i zrozumiałe dla wszystkich pracowników; powinny stanowić informację dla pracowników o zagrożeniach związanych z zasilaniem urządzenia w formie jasnych instrukcji, np.: „Nie zaczynaj”, „Nie otwieraj”, „Nie zamykaj”, „Nie włączaj” lub „Nie uruchamiaj”;
- wystarczająco trwałe, tak aby zminimalizować prawdopodobieństwo przedwczesnego lub przypadkowego ich usunięcia; pracownicy powinni mieć możliwość usuwania zamków tylko przy użyciu nadmiernej siły lub za pomocą specjalnych narzędzi, takich jak noże lub inne narzędzia do cięcia metalu; osprzęt mocujący musi być jednorazowy, samoblokujący i nieodwracalny; przywieszki muszą być mocowane ręcznie, a urządzenie do mocowania przywieszki powinno stanowić jednoczęściową nylonową opaskę kablową lub jej odpowiednik, tak aby była ona odporna na wszystkie czynniki środowiskowe;

- oznakowane w celu identyfikacji pracowników upoważnionych do ich stosowania i usuwania.

Oznakowanie może być stosowane w urządzeniach odłączających energię, które mogą być zamykane, jeżeli pracodawca opracowuje i wdraża oznakowanie w sposób zapewniający pracownikom poziom ochrony równy poziomowi zapewnianemu przez system blokowania.

Najczęściej stosowanymi urządzeniami blokującymi są kłódki bezpieczeństwa (rys. 1 **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**). Są one przeznaczone do zamykania urządzeń odłączających od zasilania w pozycji otwartej. Dają pewność i gwarancję bezpieczeństwa pracownikom, którzy dokonują remontów i konserwacji urządzeń przemysłowych.



Rys. 1. Przykładowe kłódki bezpieczeństwa

Blokady zaworów (rys. 2 **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**) LOTO służą do blokowania wszelkiego typu: zaworów (kulowych, grzybkowych, motylkowych), zasuw, przepustnic, zasuw ślimakowych w bezpiecznej pozycji. Użytkownik stosuje blokady zaworów, aby osoby postronne nie mogły przestawić czy otworzyć zaworu bez wiedzy osoby zamykającej dany zawór.



Rys. 2. Blokada zaworów

Blokady wyłączników energii elektrycznej (rys. 3) służą do blokowania wszelkiego rodzaju przetłączników, bezpieczników, w taki sposób aby nieupoważniona osoba nie mogła przestawić przetłącznika w pozycję załączoną.



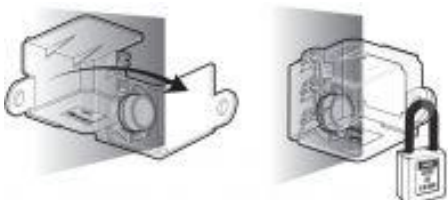
Rys. 3. Blokady wyłączników elektrycznych

Do ograniczenia możliwości podłączenia urządzenia peryferyjnego stosuje się blokady wtyków i wtyczek elektrycznych (rys. 4).



Rys. 4. Blokady wtyczek elektrycznych

Blokady przycisków pulpitu operatora i urządzeń STOP awaryjny (rys. 5) stanowią dodatkowe zabezpieczenie przed przypadkowym uruchomieniem maszyny podczas prowadzenia rutynowych prac związanych z obsługą maszyn i urządzeń. Jest to bardzo często jedyna metoda zabezpieczenia maszyny przed uruchomieniem przez nieupoważnionego pracownika i może być stosowana, w sytuacjach gdy nie można wyłączyć maszyny na obwodach zasilających. Blokady te są wykorzystywane także w trakcie prowadzenia bieżących czynności obsługowych przy maszynie, gdy pracownik nie może pozbawić maszyny zasilania.



Rys. 5. Blokady przycisków pulpitu operatora

Blokady rozłączników bezpiecznikowych (rys. 6) służą w systemie LOTO do zabezpieczania styków, z których celowo usunięto wkładkę bezpiecznikową. Po umieszczeniu blokady w podstawie bezpiecznikowej nie można umieścić wkładki.



Rys. 6. Blokady rozłączników bezpiecznikowych

Blokada do szybkozłączek pneumatycznych (rys. 7) umożliwia odcięcie sprężonego powietrza bez konieczności instalacji kosztownych zaworów blokujących. Blokadę zakłada się na złączkę wtykową. Blokada zamykana jest na kłódkę i oznaczana przywieszką.



Rys. 7. Blokada złączy pneumatycznych

Blokada butli z gazem (rys. 8) skutecznie blokuje zawory, kurki, małe zasuwy i zawory z pokrętkiem, grzybki bezpieczeństwa oraz zawory kulowe z motylkiem do zamykania.



Rys. 8. Blokada butli gazowych

Niezwykłe praktycznym i poręcznym urządzeniem LOTO są blokady linkowe (rys. 9). Mają one zastosowanie do wielu zagrożeń mechanicznych, elektrycznych i kinetycznych. Jednym urządzeniem blokującym pracownicy mogą blokować: zawory, przepustnice, zasuwy, wyłączniki remontowe, bezpieczniki, elektrozamki, bramki odgradzające pole pracy maszyny. Blokada linkowa pozwala pracownikowi założyć blokady na wiele urządzeń i zamknąć jedną kłódką wszystkie zablokowane urządzenia.



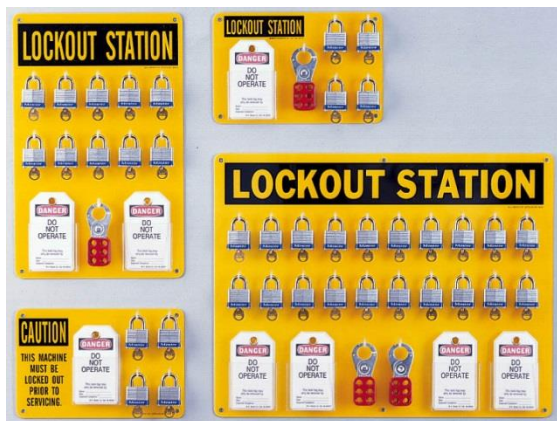
Rys. 9. Blokada linkowa

Przywieszki ostrzegawcze Tagout (rys. 10) pozwalają wskazać, kto jest odpowiedzialny za umieszczenie blokady Lockout oraz kto jest upoważniony do jej zdjęcia lub dokonania zmian.



Rys. 10. Przywieszki Tagout

Stacje LOTO (rys. 11) służą do przechowywania i zarządzania systemem blokad i zawieszek. Pracownicy w uporządkowany sposób mogą przechowywać wyposażenie systemu LOTO, a kierownictwo może w łatwy sposób kontrolować, czy pracownicy stosują procedurę LOTO. Stacje LOTO występują w różnych rozmiarach i wariantach. Tablice na blokady występują w postaci otwartych stacji LOTO na kłódki i wyposażenie lub zamkniętych stacji LOTO.



Rys. 11. Stacje LOTO

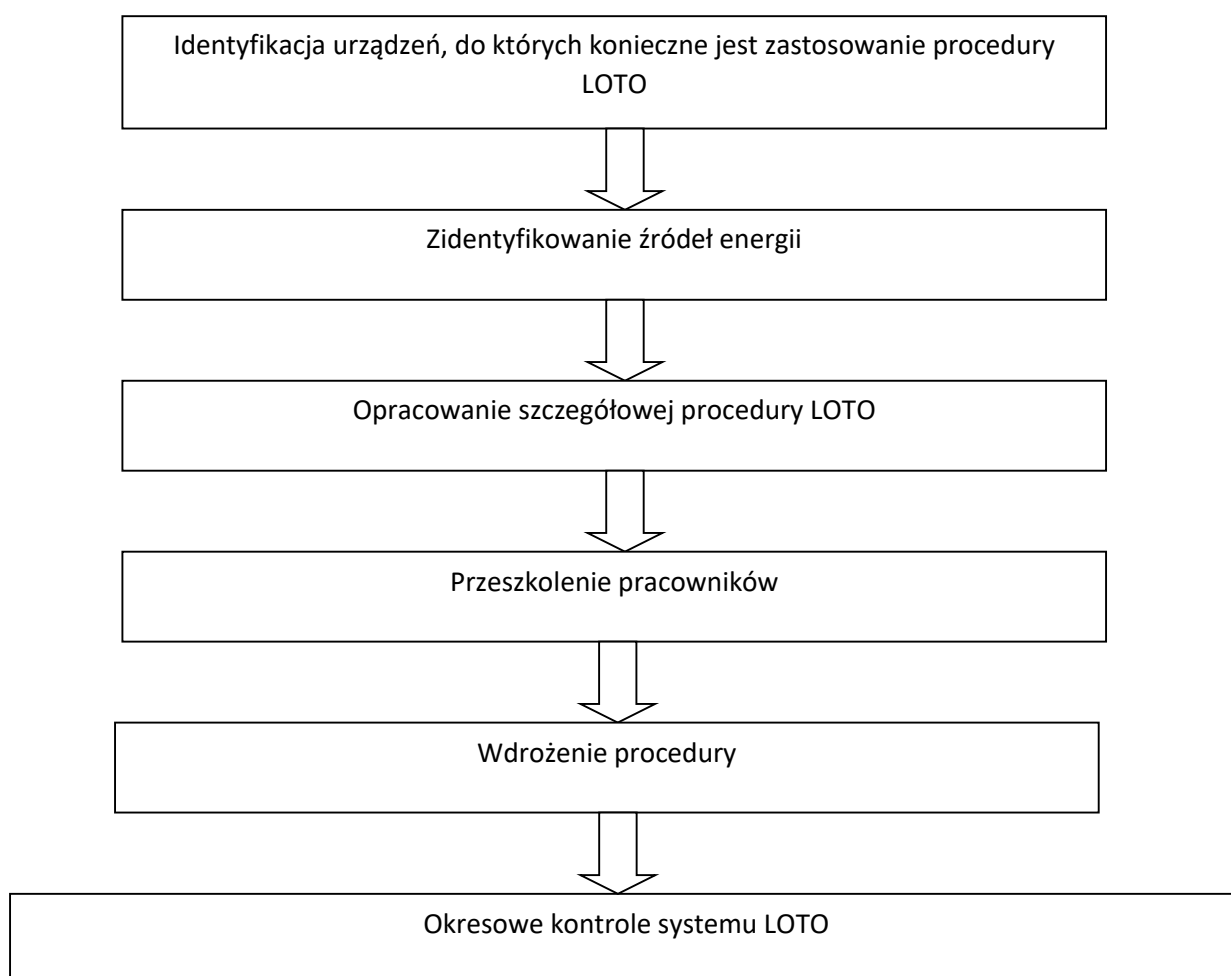
Urządzenia LOTO mogą być zastosowane jedynie wtedy, gdy urządzenia służące do odłączania energii są do tego przystosowane. Ma to miejsce wtedy, gdy urządzenie do izolacji energii jest uważane za „zdolne do zablokowania”, a więc w przypadku gdy spełnia jedno z poniższych wymagań:

- jest wyposażone w część, do której można przymocować kłódkę,
- posiada wbudowany mechanizm blokujący,
- może zostać zablokowane bez konieczności demontażu, przebudowy lub wymiany albo trwałej zmiany jego możliwości odłączania energii (np. łatwa do zablokowania pokrywa zaworu lub blokada wyłącznika).

Jeśli nie można zablokować urządzenia odłączającego energię, należy zmodyfikować lub wymienić to urządzenie, aby umożliwić jego zablokowanie lub użyć systemu oznakowania. W każdym przypadku gdy pracodawca dokonuje znacznej naprawy, renowacji lub modyfikacji maszyn albo instaluje nowe czy zastępcze maszyny, musi on jednak zapewnić możliwość zablokowania urządzeń oddzielających energię w maszynie.

4. Zasady systemu LOTO

Przedstawione w poprzednim rozdziale wyposażenie umożliwia skuteczne zablokowanie możliwości włączenia energii niebezpiecznej przez osoby nieupoważnione. Aby jednak było ono 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 rysunku 12 została pokazana ogólna procedura postępowania przy wdrażaniu procedur LOTO.



Rys. 12. Procedura postępowania przy wdrażaniu systemu LOTO

4.1. Identyfikacja urządzeń, do których konieczne jest zastosowanie procedury LOTO

Ważne jest, aby istniało wyraźne rozróżnienie między normalnymi operacjami produkcyjnymi a przypadkami, w których konieczne jest zastosowanie procedury LOTO. Należy ją stosować, w przypadkach gdy pracownicy, którzy serwisują lub utrzymują maszyny i urządzenia, są narażeni na poważne lub śmiertelne obrażenia, w momencie gdy mogą one niespodziewanie uruchomić przepływ energii lub uwolnić zmagazynowaną energię. Dotyczy to wszelkich czynności serwisowych lub konserwacyjnych, takich jak: budowa, instalacja, ustawienie, regulacja, kontrola, modyfikacja i konserwacja maszyn lub urządzeń. Działania te obejmują smarowanie, czyszczenie lub usuwanie zakleszczeń maszyn oraz dokonywanie regulacji albo wymiany narzędzi, podczas których pracownicy są narażeni na działanie niebezpiecznej energii.

Jeżeli czynność serwisowa lub konserwacyjna jest częścią normalnej działalności produkcyjnej, pracownicy wykonujący te czynności mogą być narażeni na zagrożenia, które nie są zwykle związane z samą działalnością produkcyjną. W takich przypadkach pracownicy podczas normalnych operacji produkcyjnych powinni stosować procedury LOTO, jeśli podczas wykonywanych czynności serwisowych lub konserwacyjnych:

- urządzenia ochronne lub osłony maszyny są zdejmowane lub obchodzone,
- pracownik umieszcza jakąkolwiek część ciała w strefie zagrożenia lub punkcie pracy maszyny.

Natomiast nie ma konieczności stosowania LOTO, jeśli:

- narażenie na działanie niebezpiecznej energii jest całkowicie kontrolowane przez odłączenie urządzenia od gniazdka elektrycznego, a pracownik wykonujący prace serwisowe lub konserwacyjne posiada całkowitą kontrolę nad wtyczką. Ma to zastosowanie tylko wtedy, gdy prąd elektryczny jest jedyną formą niebezpiecznej energii, na którą mogą być narażeni pracownicy. Wyjątek ten obejmuje wiele przenośnych narzędzi ręcznych oraz niektóre maszyny i urządzenia, w których urządzeniem odłączającym od zasilania jest zespół wtyczka – gniazdo;
- pracownik wykonuje bieżące operacje na gazociągach pod ciśnieniem, które rozprzewadzają: gaz, parę, wodę lub produkty naftowe, dla których pracodawca wykazuje, że:
 - ciągłość obsługi jest niezbędna,
 - wyłączenie systemu jest niepraktyczne,
 - pracownik przestrzega udokumentowanych procedur i korzysta ze specjalnego sprzętu, zapewniającego sprawdzoną, skuteczną ochronę;

- pracownik wykonuje drobne wymiany narzędzi lub inne drobne czynności serwisowe, które są rutynowe, powtarzalne i niezbędne dla produkcji, a które występują podczas normalnej pracy. Wyjątek ten jest jednak ograniczony i ma zastosowanie tylko wtedy, gdy względy ekonomiczne uniemożliwiają zastosowanie zalecanych środków izolacji energii oraz pracodawca wymaga zastosowania środków alternatywnych i zapewnia je w celu skutecznej ochrony.

4.2. Zidentyfikowanie źródeł energii

W przypadku każdego urządzenia, do którego ma zastosowanie procedura LOTO, należy zidentyfikować wszystkie występujące źródła energii. Proste odłączenie głównego urządzenia odłączającego od zasilania nie jest wystarczające, ponieważ mogą występować jeszcze inne rodzaje energii, takie jak: energia hydrauliczna, cieplna, radioaktywna, pneumatyczna, grawitacyjna i chemiczna. Ważne jest również odprowadzenie, uwolnienie lub zablokowanie każdej zmagazynowanej energii.

4.3. Opracowanie szczegółowej procedury LOTO

Procedury powinny wyjaśniać, co pracownicy muszą wiedzieć i co muszą zrobić, aby skutecznie kontrolować niebezpieczną energię podczas serwisowania lub konserwacji maszyn. Jeżeli te informacje są takie same dla różnych maszyn używanych w miejscu pracy, wówczas może wystarczyć jedna procedura LOTO. Na przykład podobne do siebie maszyny (zużywające ten sam typ i ilość energii), które mają ten sam lub podobny typ środków odłączania, mogą być objęte jedną procedurą. Pracodawcy powinni opracować odrębne procedury LOTO, jeżeli stanowiska pracy charakteryzują się bardziej zróżnicowanymi warunkami, takimi jak: wiele źródeł energii, różne połączenia elektryczne lub różne sekwencje odłączania, które pracownicy muszą stosować w celu wyłączenia różnych części maszyny.

Procedury LOTO powinny określać: zakres, cel, upoważnienia, zasady i techniki, które pracownicy będą stosować w celu kontroli niebezpiecznych źródeł energii, jak również środki, które zostaną wykorzystane do egzekwowania zgodności. Procedury te powinny dostarczać pracownikom co najmniej następujących informacji o:

- przeznaczeniu procedury,
- szczegółowych proceduralnych krokach podejmowanych w celu wyłączenia, odizolowania, zablokowania, oznakowania i zabezpieczenia maszyny,

- szczegółowych krokach wyznaczających bezpieczne umieszczenie, usunięcie, i przenoszenie urządzeń blokujących/ oznaczających oraz identyfikację osób, które są odpowiedzialne za urządzenia blokujące/ odcinające,
- szczegółowych wymaganiach dotyczących weryfikacji skuteczności urządzeń blokujących i oznaczeń, a także innych środkach kontroli energii.

4.4. Przeszkolenie pracowników

Szkolenie powinno zapewnić, że pracownicy rozumieją cel, funkcję i ograniczenia programu kontroli energii. Pracodawcy powinni zapewnić szkolenia specyficzne dla potrzeb *pracowników uprawnionych, pracowników narażonych i innych pracowników*.

Pracownicy uprawnieni to osoby odpowiedzialne za wdrażanie procedur kontroli energii lub wykonywanie czynności serwisowych lub konserwacyjnych. Potrzebują oni wiedzy i umiejętności niezbędnych do bezpiecznego stosowania, użytkowania i usuwania urządzeń izolujących energię. Ponadto powinni przejść szkolenia w następujących obszarach wiedzy:

- identyfikacja źródeł niebezpiecznych energii,
- rodzaj i wielkość niebezpiecznych energii w miejscu pracy,
- procedury LOTO, w tym metody i środki służące do izolowania i kontrolowania tych źródeł energii.

Pracownicy narażeni to osoby (zazwyczaj operatorzy lub użytkownicy maszyn), którzy obsługują daną maszynę lub znajdują się – z racji wykonywanej pracy – w obszarze, w którym wykonywany jest serwis lub konserwacja. Pracownicy ci nie dokonują serwisowania ani konserwacji maszyn, nie wykonują też czynności związanych z LOTO. Pracownicy, których to dotyczy, muszą zostać przeszkoleni w zakresie przeznaczenia i stosowania procedur kontroli energii. Muszą oni również być w stanie:

- rozpoznawać, kiedy stosowana jest procedura LOTO,
- rozumieć cel procedury,
- rozumieć, dlaczego ważne jest, aby nie manipulować przy urządzeniach blokujących czy oznakowaniu oraz nie uruchamiać lub nie używać urządzeń, które zostały zablokowane albo oznakowane.

Inni pracownicy, czyli wszyscy pozostali, których praca jest lub może być wykonywana w obszarze, na którym stosowane są procedury kontroli energii, muszą otrzymać instrukcje dotyczące procedury

kontroli energii i zakazu usuwania blokady lub oznakowania oraz prób ponownego uruchomienia, ponownego włączenia lub obsługi maszyny.

Pracodawca powinien zapewnić wstępne szkolenie przed rozpoczęciem czynności serwisowych i konserwacyjnych oraz – jeśli zajdzie potrzeba – szkolenia powtórne. Osoby autoryzowane i narażone powinny obowiązkowo przejść ponowne szkolenia, jeśli zostaną wprowadzone zmiany w:

- przydzielonych zadaniach,
- maszynach lub procesach, które stwarzają nowe zagrożenie,
- lub procedurach LOTO.

Ponowne szkolenie jest również konieczne, gdy kontrola okresowa ujawni lub pracodawca ma powody, by sądzić, że istnieją niedociągnięcia w wiedzy pracownika lub stosowaniu procedury LOTO.

4.5. Wdrożenie procedury

Wszyscy pracownicy wykonujący prace konserwacyjno-serwisowe powinni znać i stosować obowiązujące w przedsiębiorstwie procedury LOTO. Dotyczy to wszystkich działań związanych z odłączeniem i blokowaniem energii.

4.6. Okresowe kontrole systemu LOTO

Kontrola okresowa ma na celu zapewnienie, że pracownicy są zaznajomieni ze swoimi obowiązkami w ramach procedury oraz kontynuują prawidłowe wdrażanie procedur LOTO. Audytor, który powinien być upoważnioną osobą nieuczestniczącą w stosowaniu danej procedury LOTO, musi być w stanie określić:

- którzy pracownicy wykonują czynności w ramach procedury LOTO,
- czy zaangażowani pracownicy znają swoje obowiązki w ramach tej procedury,
- czy procedura ta jest odpowiednia do zapewnienia niezbędnej ochrony i wskazać ewentualne zmiany, jeśli są one konieczne.

Kontrola okresowa powinna zawierać przegląd obowiązków każdego upoważnionego pracownika w ramach kontrolowanej procedury LOTO. W przypadku gdy stosowany jest Tagout, przegląd rozciąga się również na pracowników narażonych ze względu na zwiększone znaczenie ich roli w unikaniu przypadkowego lub niezamierzonego uruchomienia maszyny.

5. Szczegółowa procedura LOTO

Zgodnie z przedstawionymi wyżej zasadami kolejne kroki przy stosowaniu LOTO powinny obejmować:

1. Przygotowanie.

2. Poinformowanie o wdrożeniu procedury LOTO.

Należy poinformować operatorów i pracowników nadzoru, których praca może być zakłócona przez odłączenie zasilania maszyn, o charakterze prowadzonych prac. Prace powinny być wykonywane przez osoby autoryzowane. Przed samym wyłączeniem maszyny należy powiadomić osoby znajdujące się w pobliżu. Na każdym punkcie założenia LOCKOUT-u powinien znajdować się tag informacyjny (wykonawca pracy, przyczyna przeprowadzanych prac, numer telefonu itd.).

3. Odłączenie źródeł energii.

Należy wyłączyć urządzenie według standardowej sekwencji zatrzymywania i wyłączenia. Energię zmagazynowaną lub pozostałą (np.: kondensatory, UPS-y, akumulatory, sprężyny, podniesione części maszyn, koła zamachowe, systemy hydrauliczne, powietrze, gaz lub woda pod ciśnieniem) należy rozproszyć lub ograniczyć za pomocą takich metod jak: upuszczenie, uziemienie, zmiana ustawienia, zablokowanie czy odsączenie.

4. Założenie blokad wraz z etykietą ostrzegawczą wskazującą na datę, cel, długość blokady i osobę, która zainstalowała blokadę.

Należy zablokować wszelkie urządzenia odłączające energię za pomocą odpowiednich elementów blokujących, aby uniemożliwić nieuprawnione załączenie energii. Należy założyć blokadę w taki sposób, aby nikt nie mógł przełączyć elementu sterowniczego urządzenia odłączającego energię w czasie wykonywanych prac. Następnie założyć zawieszki ostrzegające przed przypadkowym włączeniem zasilania. Należy stosować kłódki personalne – każdy pracownik, który przystępuje do naprawy, dołącza swoją kłódkę na każdym zabezpieczeniu LOCKOUT (rys. 13) – dzięki temu ma całkowitą pewność, że kolega, kończąc wcześniej swoją pracę, nie załączy maszyny, gdy w maszynie pozostają inni pracownicy. Ponadto należy stosować kody kolorystyczne kłódek pracowników z różnych działów.



Rys. 13. Przykład blokad LOTO

5. Sprawdzenie działanie maszyny w celu upewnienia się, że wszystkie źródła energii zostały odłączone.

Należy wykonać próbę włączenia i sterowania obwodami elektrycznymi maszyny, aby upewnić się, że energia została całkowicie odłączona. Należy mieć pewność, że zostały odłączone wszystkie źródła niebezpiecznej energii.

6. Wykonanie pracy.

Należy wykonać wymagane prace serwisowe lub konserwacyjne, postępując zgodnie z procedurami wewnętrznymi oraz instrukcją obsługi/ napraw maszyny. W przypadku gdy w części maszyny pozostaje włączona (kalibracja), należy skorzystać z asekuracji osoby stojącej w pobliżu urządzenia zatrzymywania awaryjnego, a miejsce pracy wygrodzić lub oznakować.

7. Przywrócenie do eksploatacji.

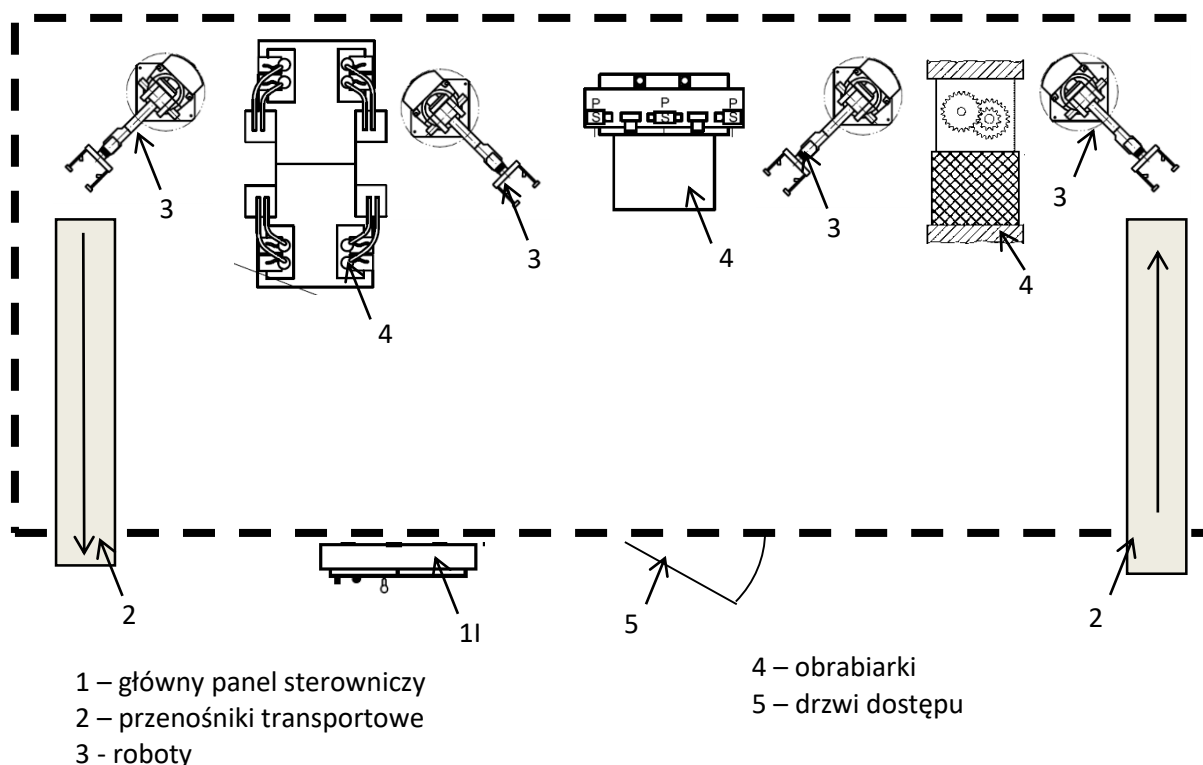
Po zakończeniu wszystkich prac należy dokonać sprawdzenia i przeglądu, czy wszystkie narzędzia zostały usunięte. Następnie należy wyprowadzić wszystkie osoby ze stref niebezpiecznych maszyny. Należy zamknąć wszystkie klapy, drzwi, włazy inspekcyjne. Ponadto należy przywrócić urządzenia ochronne i osłony zdjęte na czas wykonywania prac. Należy usunąć wszystkie blokady wraz z przywieszkami informacyjnymi. Każda blokada może być zdjęta wyłącznie przez osobę, która ją założyła.

8. Poinformowanie wszystkich pracowników o zakończeniu procedury LOTO.

Należy poinformować wszystkich pracowników obsługujących dane urządzenie o zakończeniu procedury LOTO i gotowości urządzenia do użytkowania.

5.1. Przykład procedury LOTO w tradycyjnym zintegrowanym systemie wytwórczym

Na rysunku 14 został schematycznie pokazany tradycyjny zintegrowany system wytwórczy. W jego skład wchodzi roboty przemysłowe, obrabiarki i przenośniki transportowe. Bezpieczeństwo obsługi systemu jest zapewnione przez wygrozdzenie całego obszaru systemu. Dostęp do wnętrza systemu jest możliwy przez drzwi dostępu z blokadą i ryglowaniem. Dostęp jest konieczny, w przypadku gdy należy wykonać wymianę narzędzi w obrabiarkach, przeprowadzić programowanie robotów, wykonać prace porządkowe, konserwacyjne i naprawę maszyn. W tym celu dokonuje się zatrzymania całego systemu z głównego panelu sterowniczego oraz odryglowania drzwi dostępu. Przed wejściem do obszaru systemu należy drzwi dostępu zablokować w pozycji otwartej, tak aby nie było możliwe ich zamknięcie. Następnie przeprowadza się przedstawioną powyżej procedurę LOTO w odniesieniu do maszyn, przy których wykonywane będą wymagane prace.



Rys. 14. Tradycyjny zintegrowany system wytwórczy

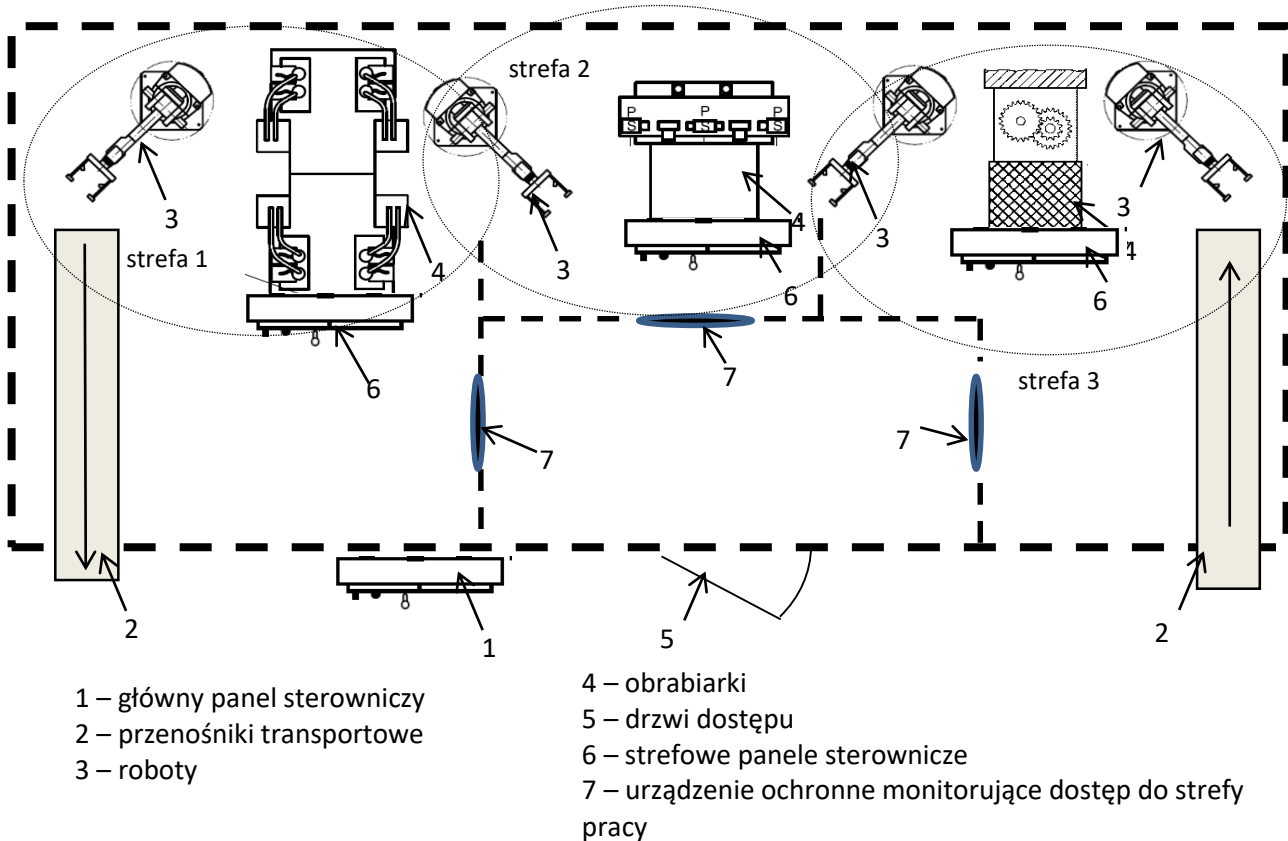
6. Procedury LOTO w systemach produkcyjnych Przemysłu 4.0

Jak pokazano w rozdziale 1, podstawową zasadą Przemysłu 4.0 jest to, że przez łączenie maszyn, elementów roboczych i systemów są tworzone inteligentne sieci wzdłuż całego łańcucha produkcji, które mogą kontrolować się nawzajem w sposób autonomiczny. Umożliwia to budowę maszyn, które potrafią przewidywać awarie i uruchamiać procesy konserwacji w sposób autonomiczny, dzięki czemu znacząco zmniejsza się konieczność ingerencji człowieka w działania serwisowe. Jednak nawet wykorzystanie możliwości Przemysłu 4.0 nie wyeliminuje całkowicie prac konserwacyjno-naprawczych, natomiast spowoduje pojawienie się nowych zagrożeń spowodowanych autonomicznym działaniem maszyny. Oznacza to konieczność zastosowania dodatkowych środków w procedurach LOTO. W celu identyfikacji niezbędnych modyfikacji w procedurze opisanej w poprzednim rozdziale zostanie przeanalizowane poniżej 5 wybranych inteligentnych systemów wytwórczych, typowych dla Przemysłu 4.0.

6.1. Inteligentny zintegrowany system wytwórczy

Schemat inteligentnego zintegrowanego systemu wytwórczego został przedstawiony na rysunku 15. System jest podzielony na strefy robocze. Każda strefa ma własny panel sterowania. Panel główny i panele w strefach są wyposażone w czytniki tagów RFID. Każdy pracownik posiada przydzielony własny indywidualny tag RFID. Przed rozpoczęciem prac zbliża tag do czytnika na panelu głównym systemu, który go identyfikuje. Następnie wprowadza informacje o miejscu i rodzaju prac, które chce wykonać. Po zidentyfikowaniu pracownika system za pośrednictwem IoT komunikuje się z bazą danych uwierzytelniających, z której pobiera dane o kwalifikacjach pracownika i jego uprawnieniach. Sprawdza, czy posiada on uprawnienia do wykonywania zamierzonych prac. Jeśli tak, przekazuje pracownikowi informacje o:

- strefach pracy, do których ma dostęp, ścieżkach dostępu do tych stref i drogach wyjścia w razie potrzeby,
- wybranych zadaniach do wykonania,
- pracach, do których zidentyfikowany pracownik nie ma uprawnień.



Rys. 15. Schemat inteligentnego zintegrowanego systemu wytwórczego

System dokonuje następnie zatrzymania awaryjnego maszyn w wybranej strefie pracy (zatrzymanie bezpieczne) i zatrzymania funkcjonalnego maszyn w pozostałych strefach (należy pamiętać, że system nie ma możliwości odłączenia od źródeł energii), odryglowuje drzwi dostępu, blokuje urządzenie ochronne monitorujące dostęp do wybranej strefy pracy i rejestruje fakt wejścia konkretnego pracownika w obszar systemu. Kurtyna świetlna monitorująca dostęp do strefy roboczej rejestruje wejście pracownika, który zbliża swój tag do czytnika na panelu strefy roboczej. Zostaje on zidentyfikowany. Następnie pracownik przeprowadza procedurę LOTO w odniesieniu do maszyn znajdujących się w jego strefie pracy. Po zakończeniu prac zdejmuje blokady LOTO. W dalszej kolejności odczytuje swój tag na panelu sterowniczym strefy w celu potwierdzenia zakończenia prac i wychodzi przez urządzenie ochronne monitorujące dostęp do tej strefy, które rejestruje fakt opuszczenia strefy. Pracownik po opuszczeniu obszaru systemu rejestruje fakt zakończenia prac na głównym panelu sterowniczym systemu.

Procedura LOTO w tym przypadku ulegnie modyfikacji o procedurę identyfikacji i uzyskania uprawnień do wstępu w obszar systemu. Kolejne kroki powinny obejmować:

1. Poinformowanie o wdrożeniu procedury LOTO.

Należy poinformować operatorów i pracowników nadzoru – których praca może być zakłócona przez odłączenie zasilania maszyn – o charakterze prowadzonych prac. Prace powinny być prowadzone przez osoby autoryzowane. Przed samym wyłączeniem maszyny powiadamiamy osoby znajdujące się w pobliżu. Na każdym punkcie założenia LOCKOUT-u powinien znajdować się tag informacyjny (wykonawca pracy, przyczyna przeprowadzanych prac, numer telefonu itd.).

2. Identyfikację.

Należy dokonać identyfikacji i sprawdzenia uprawnień na głównym panelu sterowniczym. Następnie należy sprawdzić, czy identyfikacja została wykonana poprawnie i czy udostępniona została właściwa strefa. Należy zapoznać się z informacjami dotyczącymi dróg dostępu i dróg ewakuacji. Należy otworzyć drzwi dostępu i zablokować je w pozycji otwartej. Po wejściu do właściwej strefy należy dokonać identyfikacji na strefowym panelu sterowniczym.

3. Przygotowanie.

W celu przygotowania odłączenia źródła energii należy określić typ stosowanej energii (np. elektryczna lub mechaniczna) oraz stwarzane przez nią potencjalne zagrożenia. Ponadto należy ustalić elementy odłączające i przygotować możliwość ich zablokowania w pozycji rozłączonej. Należy zidentyfikować wszystkie punkty zabezpieczające maszynę. Punkty odłączenia niebezpiecznej energii powinny być wcześniej oznaczone. Rozmieszczenie punktów odłączenia niebezpiecznej energii powinno być zobrazowane na schemacie maszyny.

4. Odłączenie źródeł energii.

Energię zmagazynowaną lub pozostałą (np.: kondensatory, UPS-y, akumulatory, sprężyny, podniesione części maszyn, koła zamachowe, systemy hydrauliczne, powietrze, gaz lub woda pod ciśnieniem) należy rozproszyć lub ograniczyć za pomocą takich metod jak: upuszczenie, uziemienie, zmiana ustawienia, zablokowanie czy odsączenie.

5. Założenie blokad wraz z etykietą ostrzegawczą wskazującą na datę, cel, długość blokady i osobę, która zainstalowała blokadę.

Należy zablokować wszelkie urządzenia odłączające energię za pomocą odpowiednich elementów blokujących, aby uniemożliwić nieuprawnione załączenie energii. Należy założyć blokadę w taki sposób, aby nikt nie mógł przełączyć elementu sterowniczego urządzenia odłączającego energię w czasie wykonywanych prac. Następnie należy założyć zawieszki ostrzegające przed przypadkowym włączeniem zasilania. Należy stosować kłódki personalne – każdy pracownik, który przystępuje do

naprawy, dołącza swoją kłódkę na każdym zabezpieczeniu LOCKOUT (szekle) – dzięki temu ma całkowitą pewność, że kolega, który skończy swoją pracę wcześniej, nie załączy maszyny, w momencie gdy pozostają w niej inni pracownicy. Należy stosować kody kolorystyczne kłódek pracowników z różnych działów.

6. Sprawdzenie działania maszyny w celu upewnienia się, że wszystkie źródła energii zostały odłączone.

Należy wykonać próbę włączenia i sterowania obwodami elektrycznymi maszyny, aby upewnić się, że energia została całkowicie odłączona. Należy mieć pewność, że zostały odłączone wszystkie źródła niebezpiecznej energii.

7. Wykonanie pracy.

Należy wykonać wymagane prace serwisowe lub konserwacyjne. Należy postępować zgodnie z procedurami wewnętrznymi oraz instrukcją obsługi/ napraw maszyny. W przypadku gdy część maszyny pozostaje włączona (kalibracja, programowanie robota), należy skorzystać z asekuracji osoby stojącej w pobliżu urządzenia zatrzymywania awaryjnego, a miejsce pracy wygrodzić lub oznakować.

8. Przywrócenie do eksploatacji.

Po zakończeniu wszystkich prac należy dokonać przeglądu i sprawdzenia, czy wszystkie narzędzia zostały usunięte. Należy zamknąć wszystkie klapy, drzwi, włazy inspekcyjne oraz przywrócić urządzenia ochronne i osłony zdjęte na czas wykonywania prac. Następnie należy usunąć wszystkie blokady wraz z przywieszkami informacyjnymi. Należy zarejestrować chęć opuszczenia strefy na sterowym panelu sterowniczym i opuścić strefę.

9. Rejestracja zakończenia prac.

Po opuszczeniu obszaru systemu należy odblokować i zamknąć drzwi dostępu. Następnie należy zarejestrować fakt zakończenia prac na głównym panelu sterowniczym.

10. Poinformowanie wszystkich pracowników o zakończeniu procedury LOTO.

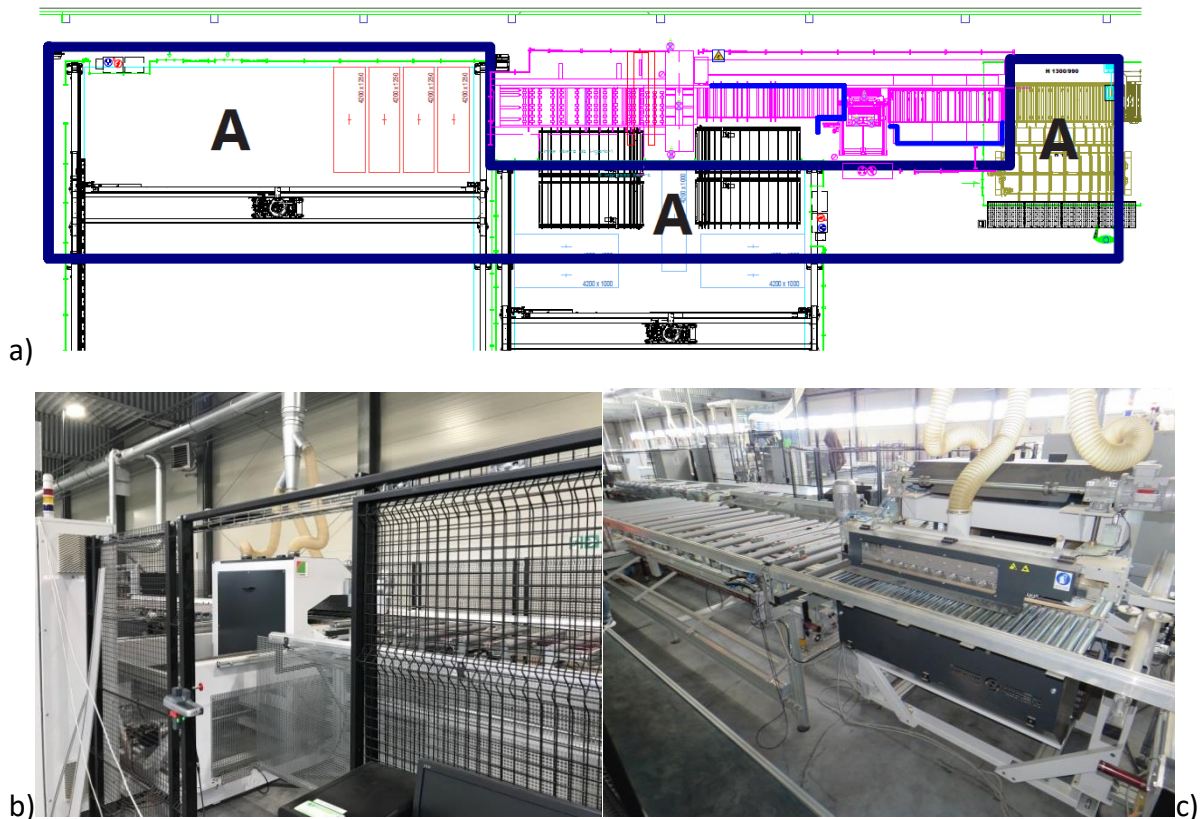
Należy poinformować wszystkich pracowników obsługujących system o zakończeniu procedury LOTO i gotowości urządzenia do użytkowania.

6.2. Automatyka przemysłowa sterowana za pośrednictwem IoT

Na rysunku 16 zaprezentowano maszynę do cięcia blatów laminowanych. Jest to zespół trzech maszyn, na który składają się:

- maszyna do przecinania,

- pilarka tarczowa wzdłużna,
- przenośniki transportowe.



Rys. 16. Zespół maszyn do cięcia blatów laminowanych; a) – usytuowanie maszyn, b) – pilarka poprzeczna, c) – pilarka wzdłużna

Maszyny stanowią część linii produkcyjnej blatów laminowanych. Po złożeniu zamówienia magazyn łączy się z maszyną przez IoT i podaje dane dotyczące zamówienia: liczbę blatów, wymiary itp. Po dostarczeniu materiału na blaty za pomocą przenośników transportowych następuje produkcja zamówionej partii blatów, która jest sukcesywnie przekazywana przenośnikami do kolejnych maszyn.

Zgodnie z „Instrukcją” maszyna wymaga następujących czynności konserwacyjnych:

- ogólne czyszczenie,
- smarowanie ślizgaczy,
- czyszczenie filtrów powietrza – szafa rozdzielcza,
- czyszczenie i wymiana filtra – zespół filtra z regulatorem,
- wymiana pił.

Gdy maszyna pracuje w trybie zdalnym i jest sterowana przez system magazynowy, operator nie kontroluje momentu uruchomienia napędów maszyny. Może to powodować zagrożenia na przykład przy włączeniu maszyny po zdjęciu blokad, dlatego przed przystąpieniem do czynności konserwacyjno-naprawczych należy przełączyć maszynę na tryb sterowania lokalnego. Ponownego przywrócenia sterowania zdalnego dokona operator maszyny po upewnieniu się, że nie spowoduje to zagrożenia. Należy to uwzględnić w procedurze LOTO. Należy także pamiętać, że wysoko obrotowe piły tarczowe nie zatrzymują się natychmiast. Przed otwarciem drzwi dostępu należy upewnić się, że piły zatrzymały się.

1. Przygotowanie.

W celu przygotowania odłączenia źródła energii należy określić typ stosowanej energii (np. elektryczna lub mechaniczna) oraz stwarzane przez nią potencjalne zagrożenia. Następnie należy ustalić elementy odłączające i zapewnić możliwość ich zablokowania w pozycji rozłączonej. Należy zidentyfikować wszystkie punkty zabezpieczające maszynę. Punkty odłączenia niebezpiecznej energii powinny być wcześniej oznaczone. Rozmieszczenie punktów odłączenia niebezpiecznej energii powinno być zobrazowane na schemacie maszyny.

2. Poinformowanie o wdrożeniu procedury LOTO.

Należy poinformować operatorów i pracowników nadzoru – których praca może być zakłócona przez odłączenie zasilania maszyn – o charakterze prowadzonych prac. Prace powinny być prowadzone przez osoby autoryzowane. Przed samym wyłączeniem maszyny należy powiadomić osoby znajdujące się w pobliżu. Na każdym punkcie założenia LOCKOUT-u powinien znajdować się tag informacyjny (wykonawca pracy, przyczyna przeprowadzanych prac, numer telefonu itd.).

3. Odłączenie źródeł energii.

Przed wyłączeniem maszyny należy upewnić się, że pracuje ona w trybie sterowania lokalnego, a tryb sterowania zdalnego jest wyłączony. Po wyłączeniu zasilania maszyny należy sprawdzić, czy wszystkie piły zatrzymały się. Energię pozostałą lub zmagazynowaną (np.: kondensatory, UPS-y, akumulatory, sprężyny, podniesione części maszyn, koła zamachowe, systemy hydrauliczne, powietrze, gaz lub woda pod ciśnieniem) należy rozproszyć lub ograniczyć za pomocą takich metod jak: upuszczenie, uziemienie, zmiana ustawienia, zablokowanie czy odsączenie.

4. Założenie blokad wraz z etykietą ostrzegawczą wskazującą na: datę, cel, długość blokady i osobę, która zainstalowała blokadę.

Należy zablokować wszelkie urządzenia odłączające energię za pomocą odpowiednich elementów blokujących, aby uniemożliwić nieuprawnione załączenie energii. Należy założyć blokadę w taki sposób, aby nikt nie mógł przełączyć elementu sterowniczego urządzenia odłączającego energię w czasie wykonywanych prac. Następnie należy założyć zawieszki ostrzegające przed przypadkowym włączeniem zasilania. Należy stosować kłódki personalne – każdy pracownik, który przystępuje do naprawy, dołącza swoją kłódkę na każdym zabezpieczeniu LOCKOUT (szekle) – dzięki temu ma całkowitą pewność, że kolega, który skończył swoją pracę wcześniej, nie załączy maszyny, gdy w maszynie pozostają inni pracownicy. Należy stosować kody kolorystyczne kłódek pracowników z różnych działów.

5. Sprawdzenie działania maszyny w celu upewnienia się, że wszystkie źródła energii zostały odłączone.

Należy wykonać próbę włączenia i sterowania obwodami elektrycznymi maszyny, aby upewnić się, że energia została całkowicie odłączona. Należy mieć pewność, że zostały odłączone wszystkie źródła niebezpiecznej energii.

6. Wykonanie pracy.

Należy wykonać wymagane prace serwisowe lub konserwacyjne. Należy postępować zgodnie z procedurami wewnętrznymi oraz instrukcją obsługi/ napraw maszyny. W przypadku gdy część maszyny pozostaje włączona (kalibracja), należy skorzystać z asekuracji osoby stojącej w pobliżu urządzenia zatrzymywania awaryjnego, a miejsce pracy wygrodzić lub oznakować.

7. Przywrócenie do eksploatacji.

Po zakończeniu wszystkich prac należy dokonać sprawdzenia i przeglądu, czy wszystkie narzędzia zostały usunięte. Należy zamknąć wszystkie klapy, drzwi, włazy inspekcyjne. Następnie należy przywrócić urządzenia ochronne i osłony zdjęte na czas wykonywania prac. Należy usunąć wszystkie blokady wraz z przywieszkami informacyjnymi.

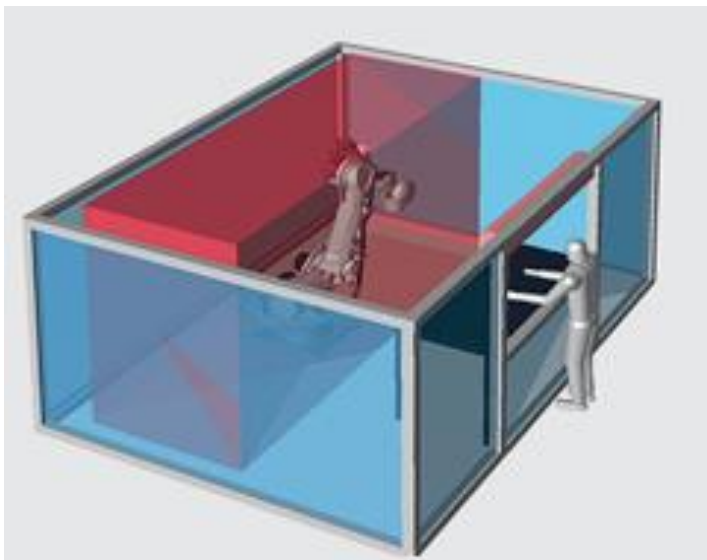
8. Poinformowanie wszystkich pracowników o zakończeniu procedury LOTO.

Należy poinformować wszystkich pracowników obsługujących maszynę o zakończeniu procedury LOTO i gotowości urządzenia do użytkowania.

6.3. Roboty współpracujące

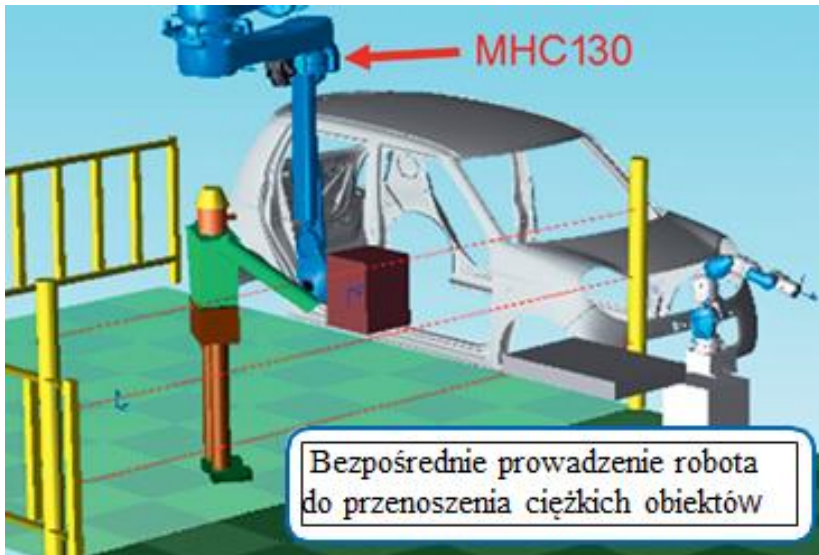
Maszyny współpracujące umożliwiły znaczne usprawnienie prac montażowych przez stworzenie elastycznego miejsca pracy, na którym są wytwarzane bardziej spersonalizowane produkty. Najbardziej rozpowszechnione są roboty współpracujące, tzw. coboty. Robot współpracujący jest urządzeniem automatycznie wykonującym skomplikowane, często powtarzalne zadania; został tak zaprojektowany, aby wyeliminować punkty zakleszczenia (posiada gładkie krawędzie i powierzchnie); często jest wyposażony w dodatkowe czujniki do wykrywania ludzi lub innych przeszkód podczas kolizji. Współpraca człowieka z robotem może odbywać się w czterech trybach:

1. *Robot pracuje głównie sam.* Interakcja z człowiekiem jest okazjonalna (rys. 17). Gdy człowiek wkracza w zdefiniowany, ograniczony obszar, robot zaprzestaje ruchu. Robot wznowia ruch, kiedy parametry bezpieczeństwa są zresetowane (np. po naciśnięciu przez obsługę przycisku resetu; gdy człowiek opuszcza wyznaczoną strefę itp.). Przykładem takiego działania jest wykonywanie przez operatora operacji na przedmiocie trzymanym przez robot.



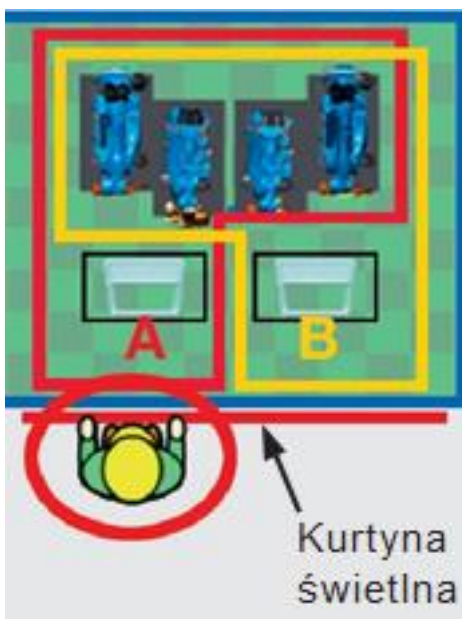
Rys. 17. Okazjonalna współpraca człowieka z robotem

2. *Robot jest prowadzony ręcznie* (rys. 18). Tryb ten może być na przykład stosowany do uczenia ścieżki, po której ma się poruszać ramię robota lub do jego ręcznego prowadzenia podczas przenoszenia ciężkich przedmiotów.



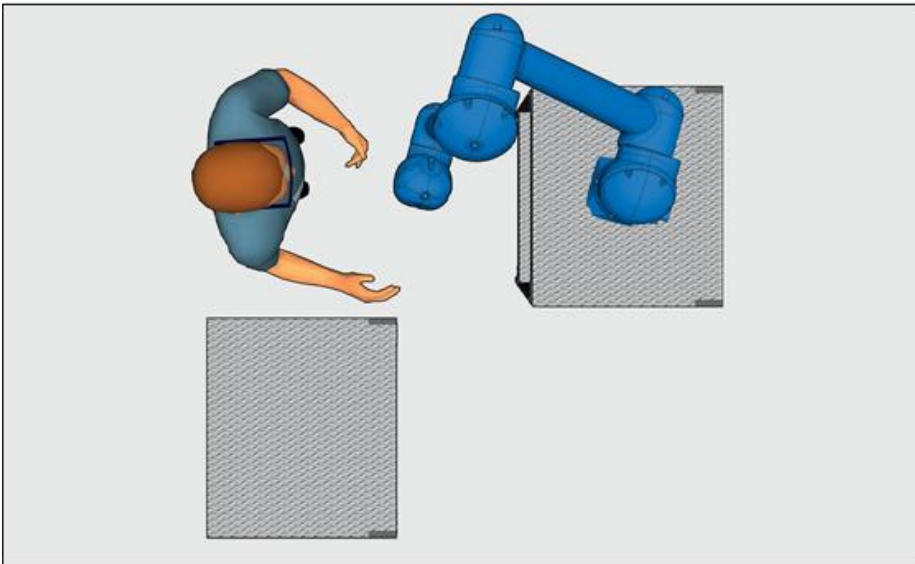
Rys. 18. Ręczne prowadzenie robota

3. Robot i człowiek pracują w tym samym obszarze, ale w różnym czasie (rys. 19). W tym trybie do monitorowania położenia pracownika są wykorzystywane skanery laserowe, kurtyny świetlne lub systemy wizyjne. Robot pracuje w określonych strefach i reaguje w zależności od strefy, w której zostanie wykryty człowiek (np. zwalnia do 50% zwykłej prędkości pracy, zwalnia do 20% zwykłej prędkości pracy, zatrzymuje się itp.). Przykładem jest odbieranie lub ładowanie produktów wytworzonych przez robot.



Rys. 19. Praca robota i człowieka w tym samym obszarze, ale w różnym czasie

4. *Człowiek współpracuje bezpośrednio z robotem (rys. 20).* Robot pracuje obok człowieka bez dodatkowych urządzeń bezpieczeństwa. Robot monitoruje zewnętrzne siły przykładane do jego korpusu i reaguje przez podjęcie określonych akcji (np. zatrzymanie się, wycofanie się). Pracami wykonywanymi może być np.: obsługa maszyn, kompletowanie i pakowanie, montaż itp.



Rys. 20. Bezpośrednia współpraca człowieka z robotem

W tym trybie robot i człowiek dzielą obszar pracy. Człowiek wkracza w obszar pracy robota często lub nieustannie. Człowiek i robot pracują nad tym samym zadaniem. Robot może być odepchnięty od użytkownika proporcjonalnie do przyłożonej siły. Kiedy siła zewnętrzna zanika, robot wraca do punktu odpychania i wznowia działanie. Gdy siła zewnętrzna działająca na robot przekroczy poziom dopuszczalny (na dowolnej z osi), zatrzymuje się. Często stosowane jest także ograniczenie mocy robota, tak aby wywierane przez niego siły nie mogły spowodować szkody.

Przy pracy w trybach: 1., 2. i 3. bezpieczeństwo operatora jest monitorowane przez klasyczne urządzenia ochronne. Prace serwisowe są wykonywane przy wyłączonym robocie. Oznacza to, że zastosowanie ma klasyczna procedura LOTO (opisana w rozdz. 5). Inaczej jest w przypadku 4. trybu współpracy. Tutaj są stosowane dwa rodzaje rozwiązań obniżających ryzyko:

- bardzo małe moce napędów, tak aby energia przekazywana podczas kontaktu części ruchomych robota z człowiekiem była zgodna z wymaganiami ISO/WD TR 21260 [26],
- pomiary siły nacisku na ramię robota.

Oznacza to, że prace w pobliżu robota mogą być wykonywane, wówczas gdy jego napędy są włączone – odwrotnie niż w przypadku klasycznych systemów wytwórczych, w których prace mogą być wykonywane jedynie przy odłączonych źródłach energii. Tak więc wszelkie prace porządkowe, konserwacyjne i inne niewymagające wyłączenia robota mogą być wykonywane bez stosowania specjalnych procedur. Problemy pojawiają się, gdy wykonywane prace wymagają wyłączenia robota, np. podczas naprawy, wymiany podzespołów itp. W takim przypadku systemy bezpieczeństwa przestają działać. Położenie ramienia robota przestaje być kontrolowane i pojawia się zagrożenie energią grawitacyjną spowodowaną swobodnym spadkiem ramienia robota. Przed podjęciem takich prac należy więc upewnić się, że ramię robota zostało sprowadzone do położenia możliwie najniższego i dopiero potem wyłączyć robot. Procedura LOTO będzie zatem wymagała uzupełniania o stosowny punkt.

1. Analiza zadania.

Należy przeanalizować zakres planowanych prac, aby określić, czy istnieje konieczność odłączenia od źródeł energii. Jeśli nie ma, można przystąpić do wykonania prac.

2. Przygotowanie.

Przed odłączeniem źródeł energii należy sprowadzić ramię robota w możliwie najniższe położenie. W celu przygotowania odłączenia danego źródła energii należy określić typ stosowanej energii (np. elektryczna lub mechaniczna) oraz stwarzane przez nią potencjalne zagrożenia. Następnie należy ustalić elementy odłączające i przygotować możliwość ich zablokowania w pozycji rozłącznej. Należy zidentyfikować wszystkie punkty zabezpieczające maszynę. Punkty odłączenia niebezpiecznej energii powinny być wcześniej oznaczone. Rozmieszczenie punktów odłączenia niebezpiecznej energii powinno być zobrazowane na schemacie maszyny.

3. Poinformowanie o wdrożeniu procedury LOTO.

Jeśli konieczne jest odłączenie źródeł energii, należy poinformować operatorów i pracowników nadzoru, których praca może być zakłócona przez odłączenie zasilania maszyn o charakterze prowadzonych prac. Prace powinny być prowadzone przez osoby autoryzowane. Przed samym wyłączeniem maszyny należy powiadomić osoby znajdujące się w pobliżu. Na każdym punkcie założenia LOCKOUT-u powinien znajdować się tag informacyjny (wykonawca pracy, przyczyna przeprowadzanych prac, numer telefonu itd.).

4. Odłączenie źródeł energii.

Po wyłączeniu zasilania maszyny należy upewnić się, że ramiona robota zostały unieruchomione, np. przez próbę ich przesunięcia. Inną energię zmagazynowaną lub pozostałą (np.: kondensatory, UPS-y, akumulatory, sprężyny, podniesione części maszyn, koła zamachowe, systemy hydrauliczne, powietrze, gaz lub woda pod ciśnieniem) należy rozproszyć lub ograniczyć za pomocą takich metod jak: upuszczenie, uziemienie, zmiana ustawienia, zablokowanie czy odsączenie.

5. Założenie blokad wraz z etykietą ostrzegawczą wskazującą na: datę, cel, długość blokady i osobę, która zainstalowała blokadę.

Należy zablokować wszelkie urządzenia odłączające energię za pomocą odpowiednich elementów blokujących, aby uniemożliwić nieuprawnione załączenie energii. Należy założyć blokadę w taki sposób, aby nikt nie mógł przełączyć elementu sterowniczego urządzenia odłączającego energię w czasie wykonywanych prac. Następnie należy założyć zawieszkę ostrzegającą przed przypadkowym włączeniem zasilania. Należy stosować kłódki personalne – każdy pracownik, który przystępuje do naprawy, dołącza swoją kłódkę na każdym zabezpieczeniu LOCKOUT (szekle) – dzięki temu ma całkowitą pewność, że kolega, kończąc swoją pracę wcześniej, nie załączy maszyny, gdy w maszynie pozostają inni pracownicy. Należy stosować kody kolorystyczne kłódek pracowników z różnych działów.

6. Sprawdzenie działania maszyny w celu upewnienia się, że wszystkie źródła energii zostały odłączone.

Należy wykonać próbę włączenia i sterowania obwodami elektrycznymi maszyny, aby upewnić się, że energia została całkowicie odłączona. Należy mieć pewność, że zostały odłączone wszystkie źródła niebezpiecznej energii.

7. Wykonanie pracy.

Należy wykonać wymagane prace serwisowe. Należy postępować zgodnie z procedurami wewnętrznymi oraz instrukcją obsługi/ napraw maszyny.

8. Przywrócenie do eksploatacji.

Po zakończeniu wszystkich prac należy dokonać przeglądu i sprawdzenia, czy wszystkie narzędzia zostały usunięte. Należy zamknąć wszystkie klapy, drzwi, włazy inspekcyjne. Następnie należy przywrócić urządzenia ochronne i osłony zdjęte na czas wykonywania prac. Należy usunąć wszystkie blokady wraz z przywieszkami informacyjnymi.

9. Poinformowanie wszystkich pracowników o zakończeniu procedury LOTO.

Należy poinformować wszystkich pracowników obsługujących maszynę o zakończeniu procedury LOTO i gotowości urządzenia do użytkowania.

6.4. Maszyny z funkcją monitoringu mobilnego



Rys. 21. Maszyny z funkcją monitoringu mobilnego

Nowoczesne maszyny coraz częściej mają w standardzie wbudowaną aplikację monitoringu mobilnego, która zapewnia natychmiastowe powiadomienia o stanie urządzenia, alarmach i sterowaniu ręcznym za pomocą powiadomień i wiadomości e-mail (rys. 21). Osoba nadzorująca park maszynowy otrzymuje powiadomienia o uruchomieniu programu, zatrzymaniu programu, sterowaniu ręcznym i alarmach. Ma również możliwość monitorowania maszyn w czasie rzeczywistym. Przeprowadza konfigurację i zarządza parkiem maszynowym. Na bieżąco monitoruje stan maszyn. Oznacza to, że każdorazowe wyłączenie maszyn będzie generować sygnał alarmowy. Przystąpienie do wykonywania prac porządkowych i serwisowych będzie wymagać więc akceptacji przez osoby prowadzące mobilny monitoring maszyn, co powinno mieć odzwierciedlenie w procedurze LOTO.

1. Przygotowanie.

W celu przygotowania odłączenia źródła energii należy określić typ stosowanej energii (np. elektryczna lub mechaniczna) oraz stwarzane przez nią potencjalne zagrożenia. Należy ustalić elementy odłączające i przygotować możliwość ich zablokowania w pozycji rozłączonej. Następnie należy zidentyfikować wszystkie punkty zabezpieczające maszynę. Punkty odłączenia niebezpiecznej energii

powinny być wcześniej oznaczone. Rozmieszczenie punktów odłączenia niebezpiecznej energii powinno być zobrazowane na schemacie maszyny.

2. Poinformowanie o wdrożeniu procedury LOTO.

Należy poinformować operatorów i pracowników nadzoru, których praca może być zakłócona przez odłączenie zasilania maszyn o charakterze prowadzonych prac. Prace powinny być prowadzone przez osoby autoryzowane. Przed samym wyłączeniem maszyny należy powiadomić osoby znajdujące się w pobliżu. Na każdym punkcie założenia LOCKOUT-u powinien znajdować się tag informacyjny (wykonawca pracy, przyczyna przeprowadzanych prac, numer telefonu itd.).

3. Akceptacja.

Należy uzyskać akceptację osoby prowadzącej monitoring mobilny na wyłączenie maszyn.

4. Odłączenie źródeł energii.

Energię zmagazynowaną lub pozostałą (np.: kondensatory, UPS-y, akumulatory, sprężyny, podniesione części maszyn, koła zamachowe, systemy hydrauliczne, powietrze, gaz lub woda pod ciśnieniem) należy rozproszyć lub ograniczyć za pomocą takich metod jak: upuszczenie, uziemienie, zmiana ustawienia, zablokowanie czy odsączenie.

5. Założenie blokad wraz z etykietą ostrzegawczą wskazującą na: datę, cel, długość blokady i osobę, która zainstalował blokadę.

Należy zablokować wszelkie urządzenia odłączające energię za pomocą odpowiednich elementów blokujących, aby uniemożliwić nieuprawnione załączenie energii. Należy założyć blokadę w taki sposób, aby nikt nie mógł przełączyć elementu sterowniczego urządzenia odłączającego energię w czasie wykonywanych prac. Następnie należy założyć zawieszki ostrzegające przed przypadkowym włączeniem zasilania. Należy stosować kłódki personalne – każdy pracownik, który przystępuje do naprawy, dołącza swoją kłódkę na każdym zabezpieczeniu LOCKOUT (szekle) – dzięki temu ma całkowitą pewność, że kolega, kończąc swoją pracę wcześniej, nie załączy maszyny, gdy w maszynie pozostają inni pracownicy. Należy stosować kody kolorystyczne kłódek pracowników z różnych działów.

6. Sprawdzenie działania maszyny w celu upewnienia się, że wszystkie źródła energii zostały odłączone.

Należy wykonać próbę włączenia i sterowania obwodami elektrycznymi maszyny, aby upewnić się, że energia została całkowicie odłączona. Należy mieć pewność, że zostały odłączone wszystkie źródła niebezpiecznej energii.

7. Wykonanie pracy.

Należy wykonać wymagane prace serwisowe lub konserwacyjne. Należy postępować zgodnie z procedurami wewnętrznymi oraz instrukcją obsługi/ napraw maszyny. W przypadku gdy część maszyny pozostaje włączona (kalibracja, programowanie robota), należy skorzystać z asekuracji osoby stojącej w pobliżu urządzenia zatrzymywania awaryjnego, a miejsce pracy wygrodzić lub oznakować.

8. Przywrócenie do eksploatacji.

Po zakończeniu wszystkich prac należy dokonać sprawdzenia i przeglądu, czy wszystkie narzędzia zostały usunięte. Należy zamknąć wszystkie klapy, drzwi, włazy inspekcyjne. Następnie należy przywrócić urządzenia ochronne i osłony zdjęte na czas wykonywania prac. Należy usunąć wszystkie blokady wraz z przywieszkami informacyjnymi.

9. Poinformowanie wszystkich pracowników o zakończeniu procedury LOTO.

Należy poinformować wszystkich pracowników obsługujących system, w tym osobę prowadzącą monitoring mobilny o zakończeniu procedury LOTO i gotowości urządzenia do użytkowania.

6.5. Maszyny sterowane z wykorzystaniem sztucznej inteligencji

Zgodnie z ISO/PRF TR 22100-5 [27] sztuczna inteligencja (AI) to zdolność jednostki funkcjonalnej do wykonywania funkcji, które są zwykle kojarzone z ludzką inteligencją, takich jak rozumowanie i uczenie się. Zazwyczaj AI jest wyposażona w możliwości uczenia maszynowego, rozumianego jako proces, wykorzystujący raczej algorytmy niż kodowanie proceduralne, który umożliwia uczenie się na podstawie istniejących danych w celu przewidzenia przyszłych wyników.

Producenci maszyn stale rozwijają rozwiązania z zakresu AI dla procesów takich jak:

- a) kontrola jakości,
- b) optymalizacja procesów,
- c) monitorowanie stanu,
- d) konserwacja predykcyjna,
- e) wykrywanie awarii.

AI jest stosowana najczęściej w celu:

- optymalizacji wydajności maszyn/ zadań, które mają być wykonywane przez maszyny,
- bardziej efektywnego wykorzystania zasobów,
- zmniejszenia oddziaływania na środowisko,
- poprawy warunków pracy.

Niektóre wbudowane aplikacje AI mogą mieć wpływ na funkcjonowanie maszyny, a tym samym na jej bezpieczeństwo, a inne nie mają takiego wpływu. To, czy wbudowana sztuczna inteligencja może mieć natychmiastowy wpływ na bezpieczeństwo maszyn, zależy od zamierzonego efektu optymalizacji i jego praktycznej realizacji przez projekt maszyny.

Można wskazać wiele przykładów maszyn, w których zastosowano AI do celów optymalizacji procesów bez wpływu na bezpieczeństwo, np. roboty pakujące optymalizujące elementy o losowo różnych rozmiarach do załadowania na przenośnik lub paletę. Celem jest tu uzyskanie opakowania nieprzekraczającego określonych wymiarów lub wagi. W związku z tym procesy te są z góry określone i nie mają wpływu na bezpieczeństwo. W takich sytuacjach wbudowane aplikacje AI nie wprowadzają nowych zagrożeń ani zwiększonego ryzyka, które nie są objęte tradycyjnymi środkami redukcji ryzyka.

Innym przykładem jest w pełni automatyczna wycinarka laserowa, która wycina części z blachy i zdejmuje je z maszyny. Wycięte elementy mogą przybierać dowolne kształty, rozmiary i grubości (rys. 22). Konkretne elementy maszyna musi zdejmować na różne sposoby za pomocą przyssawek odpowiednio dobranych do wielkości i kształtu elementu. Z dużej liczby dostępnych przyssawek do odkładania produktów maszyna zazwyczaj już przy pierwszej próbie wybiera właściwą. Jednak, jeśli próba się nie powiedzie, maszyna może autonomicznie zdecydować się na powtórzenie próby doboru właściwej przyssawki tak wiele razy, jak jest to konieczne. Mechanizm ten będzie działał znacznie efektywniej dzięki rozwiązaniu AI. Ilekroć usunięcie produktu nie powiodło się przy pierwszej próbie, ale udało się przy kolejnych, zapamiętywane są stosowne dane. Dane te podlegają analizie i porównaniom z danymi w całym zautomatyzowanym i scentralizowanym procesie. Wyniki tych porównań mogą być następnie przeniesione z jednej maszyny na wszystkie inne maszyny tego samego typu. W ten sposób inne maszyny uczą się najlepszego sposobu na usunięcie podobnej części przy pierwszej próbie. Umożliwia to stałe udoskonalanie procesu odstawiania detali z wykorzystaniem danych pochodzących z setek tysięcy prób całej populacji maszyn.



Rys. 22. Automatyczna wycinarka laserowa, która wycina elementy z blachy o dowolnych kształtach, rozmiarach i grubościach

Bezpieczeństwo obsługi tego rodzaju wycinarek laserowych jest zapewnione przez ograniczenie dostępu do stołu do cięcia za pomocą osłon (stałych i/ lub ruchomych). Zalecane zastosowanie AI do realizacji konwencjonalnej funkcji maszyny nie stwarza żadnych dodatkowych zagrożeń ani nie zwiększa skali już istniejących zagrożeń. W związku z tym nie jest konieczne uwzględnianie dodatkowych środków dotyczących bezpieczeństwa maszyn. AI w trakcie prac konserwacyjno-naprawczych jest wyłączona, nie ma więc wpływu na procedury LOTO. Zastosowanie ma procedura klasyczna, opisana w rozdziale 5.

Przykładem zastosowania AI do realizacji funkcji mających wpływ na bezpieczeństwo jest pojazd autonomiczny (*automated guided vehicle – AGV*), który działa w przestrzeni nieograniczonej, bez środków odgradzających (np. stałe osłony, kurtyny świetlne bezpieczeństwa) i samoczynnie optymalizuje swoją nawigację za pomocą wbudowanej aplikacji AI. W tym przypadku wbudowana aplikacja AI wprowadza nowe zagrożenia lub zwiększa ryzyko, którego nie uwzględnia ocena ryzyka konwencjonalnego pojazdu transportowego bez kierowcy, działającego w przestrzeni ograniczonej środkami odgradzającymi.

Jeżeli chodzi o konwencjonalne pojazdy transportowe bez kierowcy, to poruszają się one po wcześniej ustalonych trasach. Trasy te są w większości oddzielone od otoczenia. Natomiast AGV może poruszać się po trasach, które nie są oddzielone od innych obszarów (np. miejsc pracy). Tutaj na przypadkowych miejscach znajdują się osoby. Wbudowana aplikacja AI oblicza preferowaną trasę

i prędkość AGV, aby zoptymalizować cały proces transportu oraz ominąć przeszkody, w tym znajdujące się w pobliżu osoby. W takim przypadku wszelkie prace porządkowe, konserwacyjne i inne nie wymagające wyłączenia pojazdu mogą być wykonywane bez specjalnych procedur, analogicznie do przypadku robota współpracującego. Natomiast naprawy i wymiana części, które wymagają wyłączenia zasilania pojazdu, powinny być wykonywane z uwzględnieniem procedury LOTO.

1. Analiza zadania.

Należy przeanalizować zakres planowanych prac, aby określić, czy istnieje konieczność odłączenia od źródeł energii. Jeśli nie istnieje, można przystąpić do wykonania prac.

2. Przygotowanie.

W celu przygotowania odłączenia źródła energii należy określić typ stosowanej energii (np. elektryczna lub mechaniczna) oraz stwarzane przez nią potencjalne zagrożenia. Należy ustalić elementy odłączające i przygotować możliwość ich zablokowania w pozycji rozłączonej. Następnie należy zidentyfikować wszystkie punkty zabezpieczające maszynę. Punkty odłączenia niebezpiecznej energii powinny być wcześniej oznaczone. Rozmieszczenie punktów odłączenia niebezpiecznej energii powinno być zobrazowane na schemacie maszyny.

3. Poinformowanie o wdrożeniu procedury LOTO.

Jeśli konieczne jest odłączenie źródeł energii, należy poinformować operatorów i pracowników nadzoru, których praca może być zakłócona przez odłączenie zasilania maszyn, o charakterze prowadzonych prac. Prace powinny być prowadzone przez osoby autoryzowane. Przed samym wyłączeniem maszyny należy powiadomić osoby znajdujące się w pobliżu. Na każdym punkcie założenia LOCKOUT-u powinien znajdować się tag informacyjny (wykonawca pracy, przyczyna przeprowadzanych prac, numer telefonu itd.).

4. Odłączenie źródeł energii.

Po wyłączeniu zasilania maszyny energię zmagazynowaną lub pozostałą (np.: kondensatory, UPS-y, akumulatory, sprężyny, podniesione części maszyn, koła zamachowe, systemy hydrauliczne, powietrze, gaz lub woda pod ciśnieniem) należy rozproszyć lub ograniczyć za pomocą takich metod jak: upuszczenie, uziemienie, zmiana ustawienia, zablokowanie czy odsączenie.

5. Założenie blokad wraz z etykietą ostrzegawczą wskazującą na: datę, cel, długość blokady i osobę, która zainstalowała blokadę.

Należy zablokować wszelkie urządzenia odłączające energię za pomocą odpowiednich elementów blokujących, aby uniemożliwić nieuprawnione załączenie energii. Blokadę należy założyć w taki

sposób, aby nikt nie mógł przełączyć elementu sterowniczego urządzenia odłączającego energię w czasie wykonywanych prac. Następnie należy założyć zawieszkę ostrzegającą przed przypadkowym włączeniem zasilania. Należy stosować kłódki personalne – każdy pracownik, który przystępuje do naprawy, dołącza swoją kłódkę na każdym zabezpieczeniu LOCKOUT (szekle) – dzięki temu ma całkowitą pewność, że kolega, kończąc swoją pracę wcześniej, nie załączy maszyny, gdy w maszynie pozostają inni pracownicy. Należy stosować kody kolorystyczne kłódek pracowników z różnych działów.

6. Sprawdzenie działania maszyny w celu upewnienia się, że wszystkie źródła energii zostały odłączone.

Należy wykonać próbę włączenia i sterowania obwodami elektrycznymi maszyny, aby upewnić się, że energia została całkowicie odłączona. Należy mieć pewność, że zostały odłączone wszystkie źródła niebezpiecznej energii.

7. Wykonanie pracy.

Należy wykonać wymagane prace serwisowe. Następnie należy postępować zgodnie z procedurami wewnętrznymi oraz instrukcją obsługi/ napraw maszyny.

8. Przywrócenie do eksploatacji.

Po zakończeniu wszystkich prac należy dokonać sprawdzenia i przeglądu, czy wszystkie narzędzia zostały usunięte. Należy zamknąć wszystkie klapy, drzwi, włazy inspekcyjne. Następnie należy przywrócić urządzenia ochronne i osłony zdjęte na czas wykonywania prac. Należy usunąć wszystkie blokady wraz z przywieszkami informacyjnymi.

9. Poinformowanie wszystkich pracowników o zakończeniu procedury LOTO.

Należy poinformować wszystkich pracowników obsługujących maszynę o zakończeniu procedury LOTO i gotowości urządzenia do użytkowania.

7. Podsumowanie

Przeprowadzone analizy systemów wytwórczych Przemysłu 4.0 wykazały, że wymagania dotyczące procedur LOTO różnią się od procedur stosowanych w systemach klasycznych. Różnice polegają głównie na wprowadzeniu dodatkowych kroków, wynikających ze specyfiki systemów cyberfizycznych. Zastosowanie systemu lokalizacji RFID w inteligentnym zintegrowanym systemie produkcyjnym umożliwia precyzyjne monitorowanie osób przebywających w jego obszarze. W przypadku maszyny sterowanej za pośrednictwem IoT należy przed wyłączeniem dodatkowo pamiętać o jej przełączeniu w tryb sterowania lokalnego. Roboty współpracujące i AVG wyposażone w AI pozwalają

na odstępianie od procedur LOTO, jeśli nie wymagają one wyłączenia maszyn. Natomiast w przypadku maszyny z funkcją monitorowania mobilnego przed przystąpieniem do wykonywania procedury LOTO należy uzyskać akceptację osoby monitorującej maszynę. W każdym przypadku należy jednak pamiętać o konieczności dokumentowania wykonania procedury LOTO.

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.

Bibliografia

- [1] Ślusarczyk B. Industry 4.0 – are we ready? Pol J Manag Stud. 2018;17(1):232-248.
- [2] Roblek V, Meško M, Krapež A. A complex view of Industry 4.0. SAGE Open. 2016;6(2):1-11.
- [3] Vogel-Heuser B, Hess D. Guest editorial Industry 4.0 – prerequisites and visions, IEEE Trans. Autom Sci Eng. 2016;13(2):411-413.
- [4] Consortium II. Fact Sheet. 2013. https://www.iiconsortium.org/docs/IIC_FACT_SHEET.pdf.
- [5] Hermann M, Pentek T, Otto B. Design principles for Industrie 4.0 scenarios. A Literature Review. In: 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS); 2016 January 5-8; Koloa (HI), USA: IEEE, 2016; p. 3928-3937.
- [6] Kagermann, H. Chancen von Industrie 4.0 nutzen. In: Bauernhansl T, Hompel MT and Vogel-Heuser B, eds. Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Springer Vieweg; 2014. p. 603-614.
- [7] Wee D, Kelly R, Cattell J, et al. Industry 4.0 – How to navigate digitization of the manufacturing sector. McKinsey & Company. 2015.
- [8] Drath R, Horch A. Industrie 4.0: hit or hype? IEEE Ind Electron Mag. 2014;8(2):56-58.
- [9] Pfeiffer S, Suphan A. The labouring capacity index: living labouring capacity and experience as resources on the road to Industry 4.0, 2015. <http://www.sabine-pfeiffer.de/files/downloads/2015-Pfeiffer-Suphan-EN.pdf>.
- [10] Albers A, Gladysz B, Pinner T, et al. Procedure for defining the system of objectives in the initial phase of an Industry 4.0 project focusing on intelligent quality control systems. Procedia CIRP. 2016;52:262-267.
- [11] Thames L, Schaefer D. Software-defined cloud manufacturing for Industry 4.0. Procedia CIRP. 2016;52:12-17.
- [12] Badri A, Boudreau-Trudel B, Saâdeddine Souissi A. Occupational health and safety in the industry 4.0 era: A cause for major concern? Saf Sci. 2018;109:403-411.

- [13] Simons S, Abé P, Nesper S. Learning in the AutFab – The fully automated Industrie 4.0. Learning factory of the University of Applied Sciences Darmstadt. *Procedia Manuf.* 2017;9:81-88.
- [14] Brettel M, Klein M, Friederichsen N. The relevance of manufacturing flexibility in the context of Industrie 4.0. 48th CIRP Conference on Manufacturing Systems. *Procedia CIRP.* 2016;41:105-110.
- [15] Abersfelder S, Heyder A, Franke J. Optimization of a servo motor manufacturing value stream by use of “Industrie 4.0”. In: 2015 5th International Conference on Electric Drives Production (EDPC); 2015 September 15-16; Nuremberg (Germany): IEEE; 2015.
- [16] Bücken I, Hermann M, Pentek T, et al. Towards a methodology for Industrie 4.0 transformation. *Lecture Notes in Business Information Processing.* 2017;255:209-221.
- [17] Kiel D, Arnold C, Collisi M, et al. The impact of the industrial internet of things on established business models. In: 25th International Association for Management of Technology. IAMOT 2016 Conference Proceedings; May 2016; Orlando (Florida); p. 673-695.
- [18] Reuter M, Oberc H, Wannöffel M, et al. Learning factories “Trainings as an Enabler of Proactive Workers” Participation Regarding Industrie 4.0. *Procedia Manuf.* 2017;9:354-360.
- [19] Van Lier B. Developing the industrial Internet of Things with a network centric approach: a holistic scientific perspective on smart industries. In: 18th International Conference on System Theory, Control and Computing; 17-19 October 2014; Sinaia (Romania); p. 324-329.
- [20] 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/>
- [21] Dewi L, Zebua E. Investigation of Lockout/Tagout procedure failure in machine maintenance process. *Jurnal Teknik Industri.* 2018;20(2):135-140.
- [22] Campbell, T. LOTO remains problematic. *Professional Safety.* 2003;48(3):48-51.
- [23] Bulzacchelli MT, Vernick JS, Sorock GS, et al. Circumstances of fatal Lockout/ Tagout-related injuries in manufacturing. *Am J Ind Med.* 2008;51:728-734.
- [24] Mehrgani BE, Nadeau S, Kenné JP. Optimal Lockout/Tagout, preventive maintenance, human error and production policies. *J Qual Maint Eng.* 2014;20(4):453-470.
- [25] Emami-Mehrgani B, Nadeau S, Kenne J-P. Lockout/Tagout and operational risks in the production control of manufacturing systems with passive redundancy. *Int J Prod Econ.* 2011;132:165-173.
- [26] ISO/WD TR 21260. Safety of machinery – Mechanical safety data for physical contacts between moving machinery or moving parts of machinery and persons.
- [27] ISO/PRF TR 22100-5. Safety of machinery – Relationship with ISO 12100 – Part 5: Implications of embedded Artificial Intelligence-machine learning.