

MATEUSZ POMIANEK, MAREK PISZCZEK,
MARCIN MACIEJEWSKI, MIECZYŚLAW SZUSTAKOWSKI

Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki,
ul. gen. W. Urbanowicza 2, 00-908 Warszawa,
tel.: +48 22 683 93 83, e-mail: mateusz.pomianek@wat.edu.pl

Wirtualizacja systemu produkcyjnego dla koncepcji Przemysłu 4.0

1. Wstęp

Na podstawie analizy przeszłości i trendów zmian występujących obecnie, możliwe jest oszacowanie procesów, jakie zachodzić będą w przyszłości. Odnosząc się do takiej wizji, formułować można prognozy o określonym prawdopodobieństwie zdarzenia.

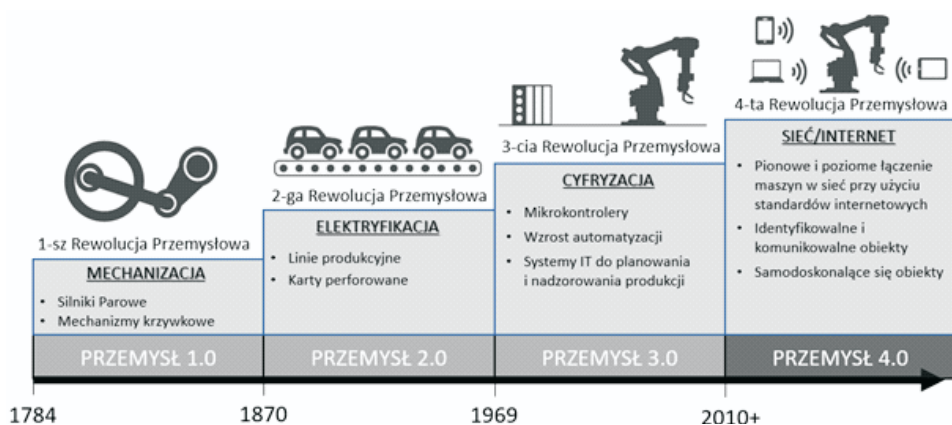
Podczas opisu dziejów gospodarczych często używane są pojęcia rewolucji przemysłowej. Metoda ta podkreśla znaczenie rozwoju myśli technicznej w ewolucji działania gospodarki. W literaturze przyjęte jest posługiwanie się pojęciem trzech rewolucji przemysłowych. Każda z nich fundamentalnie zmieniała wykorzystywane koncepcje gospodarcze. Jednak w roku 2011 podczas targów EMO w Hanowerze pojawiła się koncepcja kolejnej – czwartej rewolucji przemysłowej [5].

Jej pojawienie spowodowane miało być zmianami sposobu życia, jakie nastąpiły w wyniku pojawienia się takich współczesnych wynalazków i zjawisk jak: powszechny dostęp do Internetu, drastyczne obniżenie kosztów przechowywania danych, pojawienie się urządzeń elektronicznych i „inteligentnych” czujników, rozwój odnawialnych źródeł energii oraz badania nad sztuczną inteligencją [2].

2. Koncepcja Przemysłu 4.0

Koncepcja Przemysłu 4.0 jest zobrazowaniem idei czwartej rewolucji przemysłowej [4]. Pierwsze trzy rewolucje wprowadzały do przemysłu kolejno mechanizację, elektryfikację oraz cyfryzację procesu produkcyjnego. Dla rozwoju gospodarczego podstawowe znaczenie ma wzrost efektywności produkcji. Dlatego koncepcja Przemysłu 4.0 stawia na integrację systemów oraz tworzenie sieci [5]. Występowanie i charakterystyka poszczególnych rewolucji przemysłowych zaprezentowane zostały na rysunku 1.

Celem koncepcji Przemysłu 4.0 jest stworzenie inteligentnych systemów produkcyjnych (ang. Smart Factory) [6]. Mają być one zdolne do dynamicznego przystosowywania się do nowych warunków poprzez ciągłe zbieranie danych z podległych urządzeń i monitorowanie ich stanu. Ma to umożliwiać ergonomiczną produkcję zindywidualizowanych wyrobów i krótkich serii (tzw. Mass Customization). Podstawą technologiczną osiągnięcia tych założeń są systemy cyber-fizyczne i Internet Rzeczy (ang. Internet of Things – IoT).



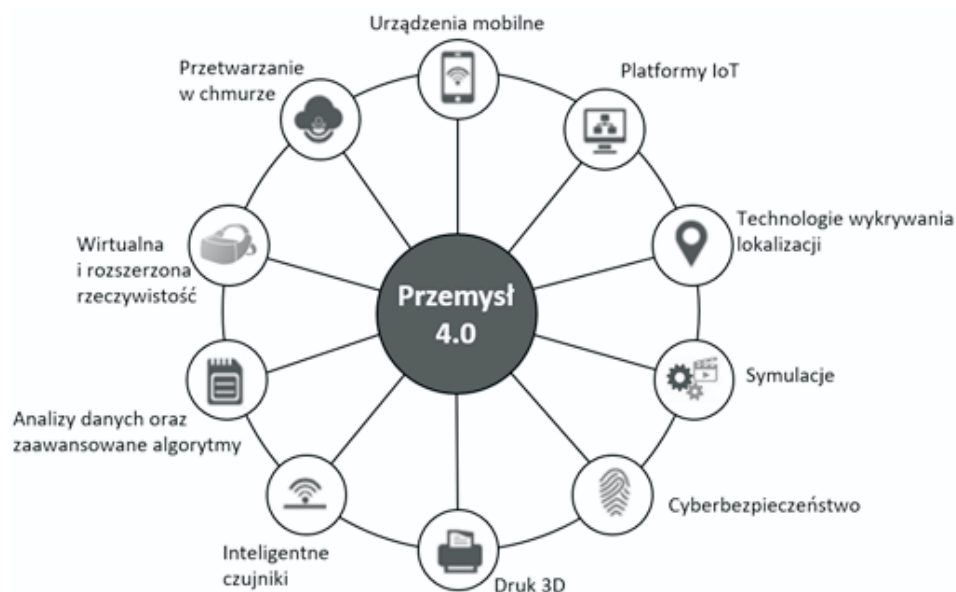
Rys. 1. Przebieg występowania rewolucji przemysłowych w czasie

Podstawowymi elementami modułowo zbudowanych, inteligentnych fabryk są systemy cyber-fizyczne. Są to urządzenia wyposażone w zespoły czujników i zaawansowane algorytmy postępowania [15]. Dzięki nim mogą wykazywać elementy sztucznej inteligencji i działać autonomicznie. Systemy te monitorują procesy fizyczne, tworzą wirtualną kopię świata rzeczywistego i podejmują zdecentralizowane decyzje [7]. Jednocześnie będąc częścią „przemysłowego Internetu Rzeczy” kooperują one zarówno same ze sobą, jak i z ludźmi je nadzorującymi. Przykładem może być system „świadomy obecności” użytkownika wykorzystującego urządzenie rozszerzonej rzeczywistości. Wykrywałby on kierunkową odległość operatora i automatycznie powiadomiłby go lub wstrzymał pracę maszyny, gdyby ten znalazłby się w obszarze zagrażającym jego życiu.

Koncepcja Przemysłu 4.0 określa także organizację łańcucha wartości w strukturze przedsiębiorstwa. W obecnie używanej koncepcji komputerowo zintegrowanego wytwarzania CIM (ang. Computer Integrated Manufacturing) systemy połączone są w pionowej hierarchicznej strukturze [8]. Dane przesyłane są od nadrzędnych systemów IT do niższego poziomu systemów i urządzeń. W nowej koncepcji równie istotna jest integracja pozioma. Systemy cyber-fizyczne każdego szczebla wymieniają się danymi, wpływając na efektywniejsze zarządzanie zasobami i planowanie własnej produkcji (urządzenia znają swój stan i podejmują decyzję w oparciu o stan

urządzeń je otaczających). Całość najistotniejszych danych dostępna jest w czasie rzeczywistym w chmurze, tam też następuje przetwarzanie zbieranych informacji.

Dla koncepcji Przemysłu 4.0 sformułowano sześć zasad: współdziałanie, wirtualizacja, decentralizacja, ocena zdolności w czasie rzeczywistym [9]. Na rysunku poniżej przedstawiono zbiór najistotniejszych aspektów, mających wpływ na realizację koncepcji.



Rys. 2. Elementy składowe koncepcji Przemysłu 4.0

W raporcie ASTOR z roku 2016, analizującym stopień przygotowania polskich przedsiębiorstw do wprowadzenia koncepcji Przemysłu 4.0, przeczytać można, iż obecnie 15% fabryk jest w pełni zautomatyzowanych, 76% częściowo zautomatyzowanych, jednak jedynie 6% z nich wprowadza nową koncepcję przemysłu. Powodem tego może być obecny sposób pozyskiwania i przetwarzania danych z produkcji. Ten sam raport informuje, iż jedynie 36% badanych zadeklarowało automatyczne pozyskiwanie danych z produkcji, natomiast pozostała część fabryk ręcznie wprowadza do systemów dane lub gromadzi je w formie papierowej [4].

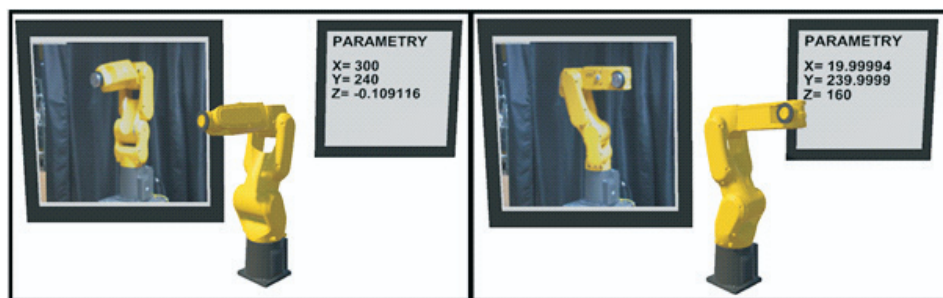
3. Wirtualizacja procesu produkcji

Wirtualizacja jest procesem pozwalającym na utworzenie lub odwzorowanie danych rzeczywistych w komputerowym środowisku wirtualnym. Mogą to być

zarówno zmienne liczbowe, obrazy wideo czy parametry obiektowe służące do odtworzenia wyglądu przedmiotu rzeczywistego [10].

W koncepcji Przemysłu 4.0 dla zakładu przemysłowego wirtualizacji poddawane są zarówno wszelkie dane z procesu produkcyjnego, jak i same urządzenia biorące w nim udział. Możliwe jest to dzięki sieciowej integracji informacji [13]. Systemy cyber-fizyczne posiadają podzespoły zarówno czujników monitorujących stan urządzenia, jak i tych odpowiedzialnych za wysyłanie oraz odbiór takich danych. Czyni to takie systemy elementami sieci przemysłowego Internetu Rzeczy.

Wirtualizacja informacji daje możliwość zwizualizowania w środowisku wirtualnym urządzenia oraz najistotniejszych informacji. Umożliwia to intuicyjny odbiór oraz zarządzanie takim systemem. Dane przetwarzane i udostępniane mogą być poprzez chmurę. Przykład wirtualizacji robota opracowany w Laboratorium Badawczym Inżynierii Informacji Obrazowej (LBIIO) Instytutu Optoelektroniki WAT zaprezentowany został na rysunku 3.



Rys. 3. Wirtualizacja urządzenia przemysłowego

Informacje o stanie ruchomych części urządzeń nie różnią się od innych, istotnych danych systemu cyber-fizycznego. Dlatego również mogą być wykorzystywane w procesie wirtualizacji, pozwalając na wizualizację pracy maszyny w czasie rzeczywistym.

Wirtualizacja procesu produkcyjnego, dzięki sieci przemysłowego Internetu rzeczy, może zachodzić w systemie nadrzędnym [14]. Środowisko takie zbiera dane z podłączonych systemów i wizualizuje je w sposób przystępny i intuicyjny dla operatora. Możliwy dzięki temu jest podgląd całego systemu produkcyjnego w środowisku wirtualnym, co ułatwia pracę osobom nadzorującym. Samo środowisko, oprócz wizualizacji, dzięki zastosowaniu zaawansowanych algorytmów analizujących, ma możliwość uczestniczenia w procesie decyzyjnym [11].

4. Optymalizacja procesu produkcji

Środowisko wirtualne, poza odzwierciedlaniem rzeczywistości, może być także wykorzystane do jej symulowania. Znając parametry systemów cyber-fizycznych lub syntezując je komputerowo, można zasymulować pracę systemu przemysłowego. Pozwala to na obserwację zjawisk zachodzących podczas produkcji bez uruchamiania rzeczywistych urządzeń.

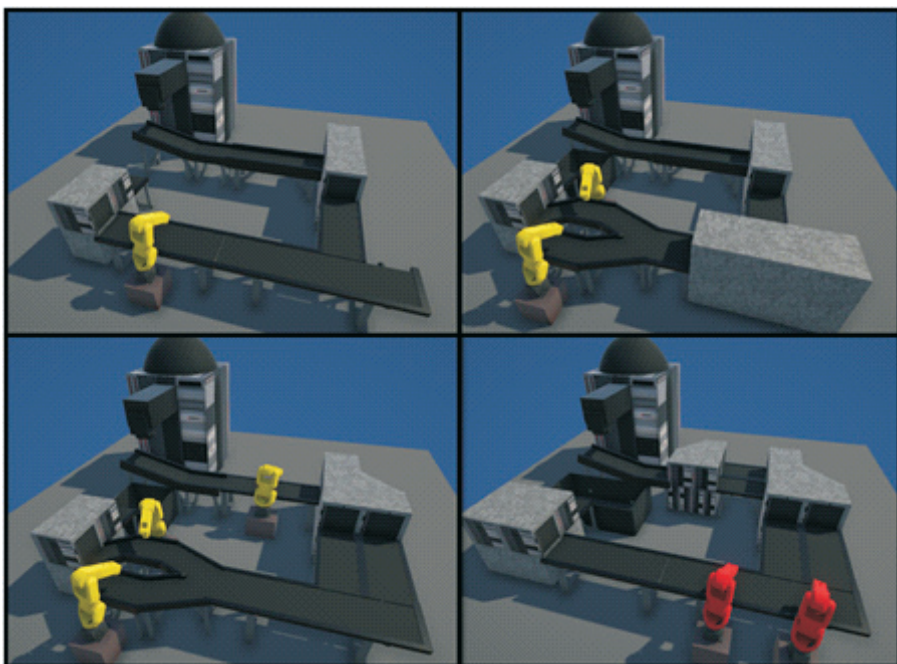
Im większa jest dokładność (względem rzeczywistych wartości) wprowadzonych do systemu danych opisujących systemy cyber-fizyczne, tym prognozy symulacyjne będą precyzyjniejsze. Różnica między tego typu rozwiązaniami a klasyczną analityką jednowymiarową polega na możliwości wizualizacji przestrzennej zarówno danych, jak i stanu obiektów w dowolnym punkcie czasu. Na rysunku 4 poniżej przedstawiono przykładową symulację stanów robota w środowisku wirtualnym.



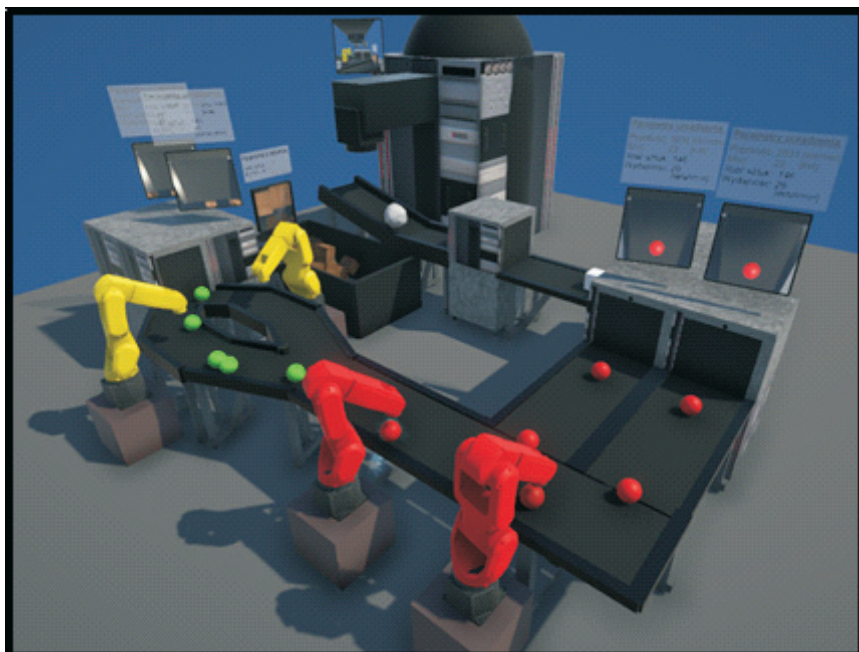
Rys. 4. Symulacja możliwych położen robota w środowisku wirtualnym

Symulacja systemu polega na „ułożeniu” linii produkcyjnej z modułów (opisane danymi systemy cyber-fizyczne), a następnie zadanie im warunków początkowych. Oznacza to, że możliwe jest nie tylko sprawdzenie w perspektywie czasu działania istniejącego systemu, ale także wypróbowanie innego ułożenia modułów. Pozwala to na przetestowanie innych, możliwych konfiguracji linii, znalezieniu ustawienia zwiększającego wydajność systemu produkcyjnego i zastosowanie rozwiązania w rzeczywistości [12]. Przykład różnego ustawienia linii produkcyjnej w aplikacji opracowanej w LBIIO zaprezentowany został na rysunku 5.

System IT, tworzący symulowane środowisko wirtualnej rzeczywistości, umożliwia zastosowanie algorytmów automatyzujących. Oznacza to, iż może samodzielnie wyznaczyć optymalne (pod określonym względem) ustawienia modułów inteligentnej fabryki. System taki prezentowałby wyniki swoich symulacji oraz informował, jakie ustawienie i zadane parametry przyniosą w perspektywie czasu największą wydajność produkcji czy największe oszczędności materiałów.



Rys. 5. Modułowość wirtualnego środowiska symulacji systemu produkcyjnego



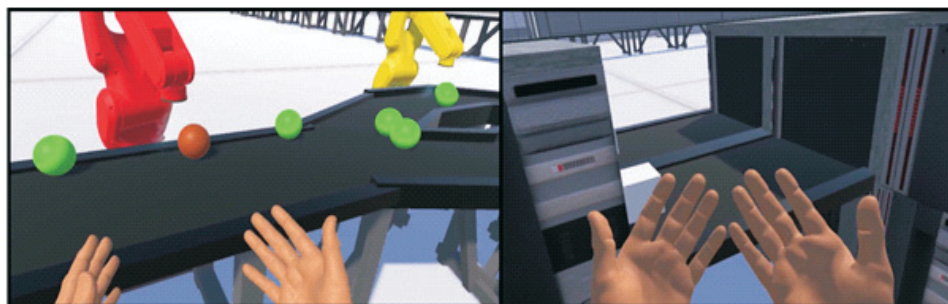
Rys. 6. Symulacja procesu produkcji na przykładzie prostych brył geometrycznych

5. Testy ergonomiczno-eksploatacyjne systemów z użyciem immersyjnego środowiska VR

Immersyjne środowisko VR polega na “zanurzeniu” wewnątrz świata wirtualnego osoby z niego korzystającej. Uzyskuje się to poprzez wykorzystanie specjalistycznych gogli (HMD). Wyświetlają one stereoskopowo obraz widziany przez operatora w świecie wirtualnym. Soczewki zamontowane przed wyświetlaczami rzutują następnie wytworzony obraz na oczy użytkownika, pokrywając znaczną część (około 110°) jego pola widzenia [11]. Odnosi on dzięki temu wrażenie przebywania w cyfrowo wygenerowanym świecie. Procesami zwrotnymi do systemu są natomiast informacje z czujników zamontowanych wewnątrz HMD. Są nimi pozycja oraz orientacja użytkownika w przestrzeni roboczej. Dzięki tym danym system pozycjonuje w cyfrowym świecie wirtualną kamerę, z której obraz jest prezentowany operatorowi. Cały ten proces pozwala na swobodne i intuicyjne przemieszczanie się po świecie wirtualnym. Ograniczeniem są jedynie wymiary stanowiska roboczego w rzeczywistości. Obecna technologia pozwala jednak na śledzenie użytkownika w obszarze nawet do $40 \times 40 \text{ m}^2$. Zastosowanie urządzeń dodatkowych, zbierających inne dane, pozwala na wizualizację takich elementów jak ręce czy korpus operatora. Zestaw systemów jest modułowy i określany w zależności od potrzeb środowiska.

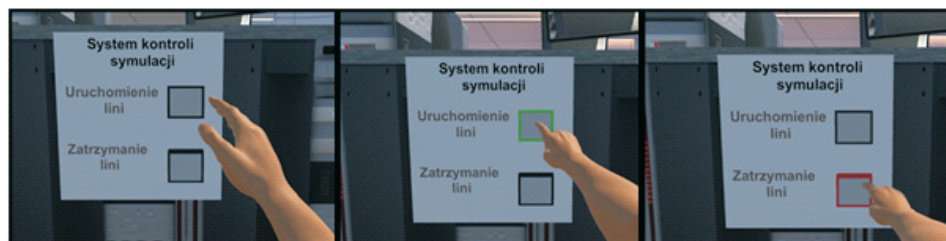
Środowisko wirtualne pozwala na odtworzenie zamysłu lub koncepcji niewystępującej nawet jeszcze w rzeczywistości. Poprzez przeniesienie operatora do takiego świata możliwa jest jego trójwymiarowa prezentacja. Możliwość spojrzenia własnymi oczami na koncepcje systemu czy urządzenia jest aspektem pożądanym przez wielu inwestorów. Możliwość ta prowadzi do intuicyjnych testów konfiguracji pod kątem cech przestrzennych, takich jak ustawienia systemów względem siebie. Na rysunku 7 zaprezentowano możliwości immersyjnego spojrzenia na koncepcję linii produkcyjnej. Rozwiązanie takie pozwala na wychwycenie błędów jeszcze w fazie projektu koncepcyjnego.

Kolejnym, istotnym aspektem w środowisku VR są interakcje zwizualizowanych elementów rzeczywistych z wirtualnymi obiektami. Interakcja taka zachodzi, gdy



Rys. 7. Immersyjna wirtualna rzeczywistość

rzeczywisty element (np. ręce) wchodzi w kolizję z wirtualnym. Oddziaływanie to zostaje automatycznie wykryte i możliwa jest do wywołania dowolna, wcześniej określona akcja. Przykładem interakcji w środowisku wirtualnym jest naciśnięcie wirtualnego przycisku [10]. Operacja taka zaprezentowana została na rysunku 8.



Rys. 8. Interakcja w środowisku wirtualnym

Środowisko wirtualne pozwala na zamodelowanie zarówno wyglądu systemu lub urządzenia, jak i odtworzenie jego działania [1]. Interakcje, zachodzące podczas wykorzystywania immersyjnego wariantu VR, pozwalają natomiast na oddziaływanie na ten system i uzyskanie odpowiedzi zwrotnej. Możliwe jest dzięki temu przeprowadzenie szeregu testów ergonomiczno-eksploatacyjnych. Badaniu w środowisku wirtualnym poddany może zostać system będący jeszcze koncepcją, a mimo to nadaje się do przetestowania jego użytkowania pod względem ergonomicznym. Wyniki takich testów mogą znacząco wpłynąć na projektowanie samego urządzenia i w efekcie doprowadzić do optymalizacji konstrukcji jeszcze przed powstaniem prototypu. Integrując aspekt symulacyjny, możliwe jest także przeprowadzenie badań pod kątem eksploatacji urządzenia, czy nawet szkolenia kadry pracowniczej.

6. Wnioski i podsumowanie

Wirtualizacja umożliwia zebranie w jednym miejscu danych z systemów cyber-fizycznych i wizualizację ich stanu. Ułatwia i usprawnia to pracę osobom nadzorującym działanie tych urządzeń. Dodatkowym atutem tej technologii w koncepcji Przemysłu 4.0 jest integracja takich danych w chmurze. Możliwe jest utworzenie w prosty sposób dostępu do systemu wirtualnej fabryki poprzez wewnętrzną sieć lub Internet.

Odpowiednio intuicyjne przedstawienie danych zarówno „surowych”, jak i tych po analizie może w znaczący sposób usprawnić i przyspieszyć proces decyzyjny. Przekłada się to także bezpośrednio na trafność podejmowanych decyzji.

Wirtualizacja urządzeń cyber-fizycznych umożliwia przeprowadzanie symulacji działania systemu produkcyjnego. Pozwala to na testy stanowiska będącego alternatywną koncepcją połączenia samodzielnych modułów. Możliwe jest także sprawdzenie działania pełnego systemu nieposiadającego jeszcze swojego rzeczywistego odpowiednika.

Nierozłącznym elementem integrujących systemów rzeczywistości wirtualnej są dane do nich dostarczane. Informacje te trzeba jednak wcześniej w odpowiedni sposób pozyskać. Odpowiadają za to moduły przemysłowego internetu rzeczy zaimplementowane w systemach cyber-fizycznych. Bez nich wirtualizacja urządzeń ograniczałaby się jedynie do środowiska symulacyjnego. Zwraca to uwagę na konieczność rozwijania tych technologii jako podstawy koncepcji Przemysłu 4.0.

Środowisko immersyjnej rzeczywistości wirtualnej umożliwia przeprowadzenie testów urządzeń lub systemów pod kątem dostępu człowieka do maszyny lub jego manualnej obsługi. Weryfikacja koncepcji tego typu nie jest możliwa z poziomu dwuwymiarowego monitora.

Wdrożenie wirtualizacji zakładów przemysłowych, zgodnie z koncepcją Przemysłu 4.0, prowadzi do redukcji kosztów związanych z konfigurowaniem ustawienia hal czy testów systemów. Oszczędności pojawiać się będą także w związku z eliminacją czynnika ludzkiego w wielu aspektach produkcyjnych. Nie będzie to prowadzić jednak do redukcji zatrudnienia. Rola pracowników koncentrować się ma na nadzorowaniu poprawności działania systemów i monitorowaniu parametrów ich pracy. Jednocześnie udostępniony zostanie im system obrazujący pracę urządzeń wraz ze wszystkimi niezbędnymi operatorom informacjami. Interfejs dostępny byłby na dowodnym urządzeniu stacjonarnym lub mobilnym, używanym przez pracowników firmy. Prace implementacyjne rozwiązań określonych w koncepcji Przemysłu 4.0 prowadzone są między innymi w projekcie AktiScan (nr PBS3/B3/30/2015) realizowanym w IOE WAT.

LITERATURA

- [1] SERAFIN M., *Wirtualizacja w praktyce*, Helion, Gliwice 2012.
- [2] FRYŻLEWICZ Z., NIKOŃCZUK D., *Windows Azure. Wprowadzenie do programowania w chmurze*, Helion, Gliwice 2012.
- [3] JANUSZEWSKI A., *Funkcjonalność informatycznych systemów zarządzania*, t. 1 i 2, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 2011.
- [4] PAPROCKI W., *Koncepcja Przemysł 4.0 i jej zastosowanie w warunkach gospodarki cyfrowej*, Publikacja Europejskiego Kongresu Finansowego, Gdańsk 2016, s. 39-57.
- [5] ŚLĄZAK Ł., *Integracja obrabiarek z systemami informatycznymi przedsiębiorstw w aspekcie koncepcji przemysł 4.0*, *Mechanik*, nr 3/2015, s. 246-252.
- [6] WITTBRODT P., ŁAPUŃKA I., *Przemysł 4.0 – wyzwanie dla współczesnych przedsiębiorstw produkcyjnych*, *Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji*, t. 2, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2017, s. 793-799.
- [7] COX M., ELLSWORTH D., *Managing Big Data for Scientific Visualization*, *ACM Siggraph*, Vol. 97, May 1997, 5.1-5.17.
- [8] KIRAGA K., *Przemysł 4.0: 4. Rewolucja Przemysłowa Według Festo*, *Logistyka*, t. 17, nr. 12, 2016, s. 1603-1605.
- [9] PAŁKA D., ZASKÓRSKI W., ZASKÓRSKI P., *Cloud computing jako środowisko integracji usług informatycznych*, *Zeszyty Naukowe Warszawskiej Wyższej Szkoły Informatyki* nr 9, r. 7, 2013, s. 63-77.

- [10] MACIEJEWSKI M., PISZCZEK M., POMIANEK M., SZUSTAKOWSKI M., *Tools virtualization for command and control systems*, Proceedings Volume 10433, Electro-Optical and Infrared Systems: Technology and Applications XIV, 104330A (2017).
- [11] MACIEJEWSKI M., PISZCZEK M., POMIANEK M., SZUSTAKOWSKI M., *Optoelectronic technologies for Virtual Reality systems*, SPIE Vol. 10455.
- [12] PISZCZEK M., POMIANEK M., MACIEJEWSKI M., ZAGRAJEK P., *Wirtualizacja HMI systemów kontrolno-pomiarowych*, Elektronika 8/2017.
- [13] KOCYK E., ZASKÓRSKI P., *Cloud Computing jako wyzwanie dla administracji publicznej w sytuacjach zagrożeń*, IX Ogólnopolska Konferencja Edukacja dla Bezpieczeństwa „Wyzwania i zagrożenia w XXI wieku. Militarne i niemilitarne paradygmaty bezpieczeństwa”, Gdańsk, 17-19 kwietnia 2013.
- [14] ZASKÓRSKI P., *Wirtualizacja organizacji w „chmurze” obliczeniowej*, „Ekonomika i Organizacja Przedsiębiorstwa 2012, nr 3.
- [15] PIĄTEK Z., *Czym jest Przemysł 4.0? – część 1*, <http://przemysl-40.pl/index.php/2017/03/22/czym-jest-przemysl-4-0/>, 22 marca 2017.