

Kamil Walczak

III rok Logistyka
Uniwersytet Szczeciński

„PRZEMYSŁ 4.0” I ELASTYCZNA ROBOTYZACJA ORAZ AUTOMATYZACJA DETERMINANTĄ ROZWOJU PROCESÓW LOGISTYKI PRODUKCJI

Wstęp

Od kilkunastu lat obserwuje się intensywny proces automatyzacji procesów logistycznych zarówno w przedsiębiorstwach produkcyjnych jak i usługowych, obejmujących takie obszary jak transport, magazynowanie, zapasy i opakowania. W artykule omówiono wybrane zagadnienia automatyzacji i robotyzacji procesów logistycznych, ze szczególnym uwzględnieniem manipulacji oraz transportu wewnątrzzakładowego a także buforowania na liniach produkcyjnych. Rozwój przemysłu 4.0 powoduje zmiany na liniach produkcyjnych, gdzie coraz więcej przedsiębiorstw wdraża robotyzację oraz „Internet Rzeczy”. Ten proces już obecnie wpływa na strukturę zatrudnienia a w przyszłości należy się spodziewać, że będzie jeszcze mocniej zauważalny przy jednoczesnym wzroście wydajności produkcji oraz postępującym usprawnieniu procesów logistycznych. Celem artykułu jest przeprowadzenie wstępnej dyskusji na temat wpływu jaki wywiera automatyzacja w procesach logistycznych, zwłaszcza w obszarze procesów produkcyjnych oraz analiza wszelkich potencjalnych zysków i zagrożeń płynących z procesu robotyzacji, uwzględniając interakcje z pracownikami i systemami informacyjnymi wspomagającymi procesy logistyczne.

1. Rola przemysłu 4.0 w logistyce

Przemysł 4.0 służy doskonaleniu przepływu informacji, materiału i energii a wraz z transformacją cyfrową wymusza zmiany technologiczne, procesowe oraz organizacyjne w przedsiębiorstwach. Automatyzacja i robotyzacja procesów w przemyśle 4.0 to również integracja systemowa procesów logistycznych¹. Można w związku z tym sformułować pytanie: jaki jest wpływ

1 Cyfryzacja przemysłu a zmiana modelu zatrudnienia – EXPO Katowice S.A. – Rozwijamy polski przemysł!, <https://expo-katowice.com/pl/cyfryzacja-przemyslu-a-zmiana-modelu-zatrudnienia-wyzwania-i-perspektywy/> (dostęp: 29.04.2024).

automatyzacji i robotyzacji na usprawnienie procesów logistycznych w aspekcie produkcji². Jak duże są zagrożenia związane z procesem automatyzacji i robotyzacji, który to proces stanowi podstawę dla wdrożenia przemysłu 4.0³. Wdrażanie przemysłu 4.0 wiąże się z cyfryzacją większości procesów bądź ich części na różnych etapach produkcji wyrobu, tak by uzyskać najważniejszy cel, jakim jest dostarczenie klientowi produktu dostosowanego do jego preferencji w określonym akceptowalnym czasie z uwzględnieniem minimalizacji kosztów i przy akceptowalnej jakości. To wszystko jest możliwe dzięki integracji procesów logistycznych i produkcyjnych w elastycznym procesie wytwarzania z uwzględnieniem cyklu życia produktu jak i samej linii produkcyjnej⁴. Jeśli uwzględni się konieczność wdrożenia elastycznej automatyzacji procesów produkcyjnych w celu minimalizacji czasu realizacji procesów produkcyjnych i zwiększenia limitu czasu na jego wykonanie, np. poprzez wprowadzenie trzech zmian produkcyjnych, to w sposób wyraźny można dostrzec wpływ robotyzacji na realizację procesów logistycznych⁵. Zmiany dotyczyć będą głównie infrastruktury informatycznej umożliwiającej przepływ informacji w czasie rzeczywistym oraz wdrożenia zrobotyzowanych i zautomatyzowanych systemów elastycznej produkcji⁶.

2. Znaczenie technologii w przemyśle 4.0

Na rysunku 1. wymieniono narzędzia wspierające rozwój i funkcjonowanie koncepcji przemysłu 4.0. Od cyberbezpieczeństwa po wytwarzanie addytywne⁷, każde z wymienionych narzędzi sprawia, iż procesy produkcyjne stają się

2 N. Stępnicka, P. Bąkowska „Zarządzanie Logistyczne i gospodarka magazynowa w przedsiębiorstwach wybrane aspekty”, http://miscellanea.ujk.edu.pl/data/Oferta/Pliki/380_27_st_pnicka.pdf (dostęp: 20.06.2024).

3 D. Biniasz *Rola i funkcje transportu wewnętrznego małych przedsiębiorstw produkcyjnych – studium przypadku*, Logistyka, nr 3, 2014, s. 533-542.

4 L. Zawadzka *Współczesne problemy i kierunki rozwoju elastycznych systemów produkcyjnych*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2007.

5 J. Honczarenko *Elastyczna automatyzacja wytwarzania. Obrabiarki i systemy obróbkowe*, WNT, Warszawa 2000.

6 W. Musiał, P. Sutowski, *CAD supported project of the autonomous mobile transport robot*, Mechanik, nr 5-6, 2006, s. 380-381.

7 Wytwarzanie addytywne, czyli druk przestrzenny, to zbiorcza nazwa kilku grup metod, które różnią się między sobą sposobem nanoszenia kolejnych warstw, materiałami produkcyjnymi, dokładnością wymiarową, jakością powierzchni i wymaganiami w zakresie obróbki wykończeniowej. Przedstawiamy wybrane grupy oraz

bardziej elastyczne i nowoczesne⁸. Należy podkreślić w nich dwa intensywnie rozwijane systemy jakimi są Internet Rzeczy oraz cyfrowe bliźniaki.



Rysunek 1. Narzędzia wspierające przemysł 4.0

Źródło: Platforma przemysłu przyszłości <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/technologie-organizacja-i-procesy-trzy-obszary-transformacji-cyfrowej/> (dostęp: 26.02.2024.).

Internet rzeczy oznacza maszyny i urządzenia technologiczne połączone ze sobą poprzez odpowiednie oprogramowanie i sprzęt do pobierania, gromadzenia umożliwiające identyfikację a następnie transfer informacji⁹.

przykładowe techniki, które są do nich zaliczane. – <https://automatykab2b.pl/temat-miesiaca/47660-na-czym-polega-wytwarzanie-addytywne> (dostęp: 29.04.2024).

8 I. Rojek *Zastosowania metod sztucznej inteligencji w projektowaniu i nadzorowaniu procesów technologicznych obróbki skrawaniem* Wydawnictwo Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz 2017.

9 W. Musiał, M. Kordowska, M. Rogowska *Budowa i analiza systemu nanodosuwu z wykorzystaniem komputerowych technik diagnostycznych*, *Mechanika*, nr 5-6, 2016, s. 482-483.

System wspomagany specjalistycznym oprogramowaniem dzięki zarejestrowanym i przesyłania danych np.: skanery 3D, sensory lub czujniki danym oraz systemowi przetwarzania a także wnioskowania, może wspomagać analizowanie i planowanie procesów¹⁰ oraz ich integrację¹¹. Logistyka procesów transportu wewnątrzzakładowego, magazynowania i manipulacji pełni rolę immersyjną wypełniając ciąg przyczynowo – skutkowy dotyczący przepływu materiałów i komponentów wraz z informacją. W takim optymalizowanym procesie możliwe jest minimalizowanie również przepływu energii w realizacji zarówno procesów logistycznych jak i produkcyjnych¹².

Rolą człowieka jest coraz częściej nadzorowanie i ostatecznie podejmowanie decyzji na poziomie strategicznym jak i operacyjnym. Należy jednak zauważyć, że ówczasie wiele działań może odbywać się w sposób autonomiczny i bez ingerencji pracowników lub z efektywnym ich wspomaganiem, w tym kompensującym niedoskonałości pracującego człowieka¹³. Drugim narzędziem bardzo przydatnym w rozwoju wspomnianej koncepcji przemysłowej są cyfrowe bliźniaki. Są to modele odwzorowujące urządzenia, maszyny lub systemy technologiczne i różne inne obiekty techniczne, które zostały przeniesione do przestrzeni cyfrowej i umożliwiają ingerencję w działanie obiektów rzeczywistych. Dzięki temu możliwe jest wykonywanie symulacji i przeprowadzanie testów lub doświadczeń, które w rzeczywistości byłyby drogie, czasochłonne lub niebezpieczne. Pozwala to identyfikować problemy i doskonalić funkcjonowanie systemu.

3. Zagrożenia w procesie wdrażania przemysłu 4.0

Jak wynika z raportu „World Robotics 2022”, zaprezentowanego przez Międzynarodową Federację Robotyki, od 2011 do 2021 roku wskaźnik instalacji robotów przemysłowych na całym świecie wzrasta aż o 31% (rys. 2.), co

10 Chodzi tu o procesy logistyczne takie jak chociażby magazynowanie, gdzie system może łatwo wskazać nam lokalizację danego towaru sprawnie i szybko.

11 Zintegrować w tym znaczeniu by każdy proces logistyczny się zajął i by patrzeć na to pod kątem wszystkich jego faz jak magazynowanie, produkcja czy dystrybucja. Chodzi o spojrzenie całościowe i wprowadzenie takiego rozwiązania, które wspomogłoby wszystkie rozwiązania a nie tylko pojedyncze.

12 W. Musiał, D. Mazurek, M Kordowska, W. Jordan, *Badania procesu chłodzenia strefy obróbki w procesach wygładzania oraz szlifowania z zastosowaniem robota przemysłowego*, *Mechanik*, nr 7-8, 2016, s. 1154-1155.

13 W. Musiał, J. Haracewiat, K. Kozłowicz, *Assessment of the texture and topographic features of a Surface produced by the 3D printing process*, *Advanced Technologies in Mechanics*, nr 3(4), 2016, s. 35-45.

świadczy o potrzebach wdrożeniowych w tym zakresie¹⁴. Zwiększenie wydajności oraz mniejszy współczynnik popełniania błędów skłania przedsiębiorstwa do inwestycji w automatyzację procesów produkcyjnych, a co za tym idzie wdrażania robotów przemysłowych¹⁵ w aktywny proces wytwarzania. To z kolei determinuje przeorganizowanie procesów logistycznych pod wymogi automatyzacji przy jednoczesnym optymalizowaniu pracy człowieka, który powinien być włączony w system produkcyjny¹⁶. Należy przy tym podkreślić, że mimo korzyści płynących z tych zmian, należy również uwzględnić obawy z nimi związane. Podstawowym problemem jest potencjalne zwiększenie się bezrobocia wynikającego z wypierania pracowników przez systemy zautomatyzowane. Nie jest to obawa pozbawiona podstaw¹⁷, ale nie powinna być interpretowana jako rzeczywiste zagrożenie dla pracowników. Obecnie coraz więcej osób uzyskuje wyższe kwalifikacje i poddaje się procesowi szkoleń. Automatyzacja i robotyzacja najczęściej przesuwają kompetencje pracowników z bardzo niskich do wyższych. Można sformułować wniosek, że im bardziej złożone systemy techniczne tym większe zapotrzebowanie na specjalistów. Jeśli założy się, że automatyzacja i robotyzacja podnosi efektywność procesów¹⁸, to można wykazać, że podnosi w konsekwencji zysk i umożliwia pracownikom potencjalnie wyższe zarobki¹⁹. Automatyzacja i robotyzacja to również ryzyko przeinwestowania. Elastyczna robotyzacja i automatyzacja obecnie już nie jest postrzegana tylko jako narzędzie masowej produkcji. Z drugiej strony należy zauważyć, że systemy elastycznej automatyzacji generują wysokie koszty w procesie wdrażania i wymagają ciągłego rozwoju produktu oraz samej elastycznej linii produkcyjnej, aby czas życia wyrobów i czas życia linii produkcyjnej mogły być odpowiednio zaplanowane z uwzględnieniem opłacalności

14 J. Honczarenko, op. cit.

15 Głównym ograniczeniem stosowania robotów przemysłowych powszechnie jest jednak ich cena. Często koszt instalacji takiego robota znacznie przewyższa możliwości finansowe niektórych przedsiębiorstw.

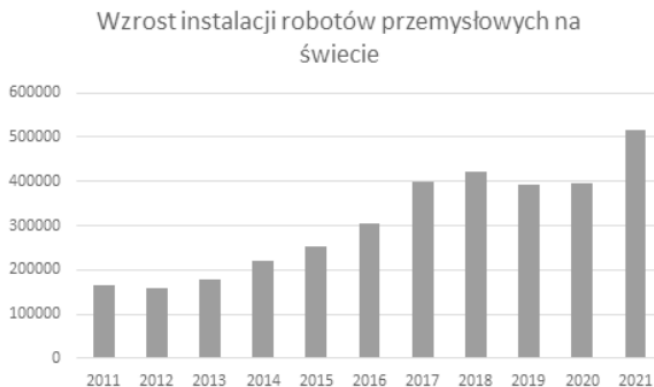
16 E. Chlebus, K. Krot, M. Kuliberda, *Regulowo-hierarchiczna reprezentacja wiedzy w planowaniu procesów technologicznych*, http://46.242.185.119/off_ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk_pdf_2009/020_Chlebus_Krot_Kuliberda.pdf (dostęp: 20.06.2024).

17 M. Ford, *Świt robotów*, CDP, Warszawa 2016.

18 Między innymi procesu produkcyjnego, gdyż roboty mogą pracować non stop bez przerwy, tyczy się to też przypadku, gdy człowiek korzysta z jakiegoś robota bądź urządzenia czy też maszyny wspomagającej. Wówczas może on wykonać więcej pracy mniej się przy tym męcząc.

19 Nie dotyczy to jednak wszystkich, dotyczy to głównie pracowników wykwalifikowanych i chcących iść w ślad za dynamicznym rozwojem technologicznym.

procesu produkcyjnego²⁰. W takich przypadkach głównym atrybutem są innowacje i ciągłe doskonalenie wyrobów jak i elastycznej linii produkcyjnej oraz dostosowywanie procesu produkcyjnego do zmieniających się wymogów narzucanych przez klienta.



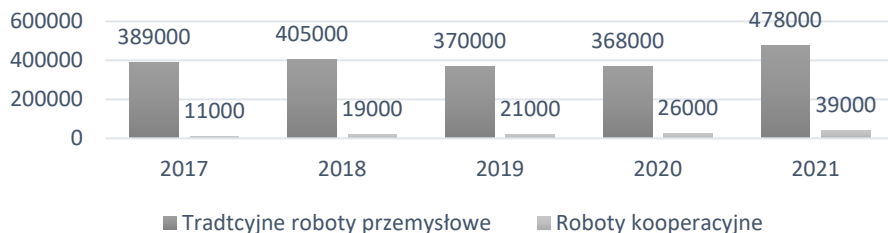
Rysunek 2. Wzrost instalacji robotów przemysłowych na świecie

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Raport *World Robotics*, M. Bill, C. Miller, W. Kraus, S. Bieller, IFR International Federation of Robots, Frankfurt 2022.

Niewątpliwą zaletą automatyzacji i robotyzacji jest koncentracja procesów produkcyjnych uwzględniając odseparowywanie pracowników od ciężkich warunków pracy oraz podnoszenie kwalifikacji przy jednoczesnym upraszczaniu zadań jakie w procesie produkcyjnym muszą realizować. Począwszy od 2017 roku obserwuje się wzrost instalacji robotów „współpracujących” (rys. 3). W tym przypadku zmienia się proces organizacji logistycznej w zakresie manipulacji oraz transportu i buforowania na stanowisku roboczym. Przy czym człowiek spełnia rolę dopełniającą, mniej odpowiedzialną. Za to roboty współpracujące z człowiekiem realizują procesy z większą dokładnością i powtarzalnością działania.

²⁰ S. Lis, S. Santarek, S. Strzelczak, *Organizacja elastycznych systemów produkcyjnych*, PWN, Warszawa 1994.

Współczynnik tradycyjnych robotów przemysłowych w stosunku do robotów kolaborujących



Rysunek 3. Współczynnik tradycyjnych robotów przemysłowych w stosunku do robotów kolaborujących

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Raport *World Robotics*, M. Bill, C. Miller, W. Kraus, S. Bieller, IFR International Federation of Robots, Frankfurt 2022.

Wraz z postępem wiedzy w zakresie „Przemysłu 4.0” podejmowane są starania mające na celu ułatwienie pracy ludziom zamiast ich w niej całkowicie wyręczać. Dobrym przykładem mogą być pracownicy wspomagani bądź nadzorujący pracę robotów produkcyjnych. Mimo iż maszyny te posiadają wiele zalet, wciąż nie są w 100% doskonałymi rozwiązaniami technicznymi, ponieważ maszyny mogą ulegać awariom, być narażone na różnego rodzaju przeciążenia lub zakłócenia. Obecnie wychodzi się z założenia, że człowiek wciąż będzie pracował w przemyśle, jednak z czasem może się zmienić zakres jego obowiązków na bardziej nadzorujący kosztem działań operatorskich w sensie manualnego sterowania, co sukcesywnie postępuje już od lat 50. XX w., dzięki wdrażaniu systemów NC a później CNC. Praca w przemyśle wykonywana przez człowieka, która ciągle w dużej mierze jest fizyczna, może już niedługo zmienić się prawie wyłącznie na pracę o charakterze monitorująco-kontrolnym.

Podsumowanie

Koncepcja przemysłu 4.0 niesie za sobą duże zmiany, których społeczeństwo nie powinno się obawiać, gdyż prawidłowo wykorzystywane narzędzia oraz racjonalne zarządzanie procesem automatyzacji powodować będzie zwiększenie wydajności pracy człowieka, która zarazem będzie lżejsza i bezpieczniejsza. Proces elastycznej automatyzacji niesie ze sobą także ryzyko przeinwestowania ze względu na to, że narzędzia przemysłu 4.0 są drogie a proces wdrożenowy jest czasochłonny. Podejmowanie takiego ryzyka jest możliwe tylko przy

odpowiednio wysokim poziomie produkcji oraz wysokim stopniu złożoności wyrobu a także wysokim stopniu elastyczności realizacji procesu produkcyjnego. Należy zauważyć, że realizacja procesów logistycznych w odniesieniu do transportu wewnątrzzakładowego, w tym manipulacji oraz buforowania, ulegać będzie automatyzacji. W takich przypadkach już nie tylko automatyzacja przepływu materiału i komponentów oraz wyrobów, ale ich elastyczna produkcja z możliwością śledzenia w czasie rzeczywistym przepływu na linii produkcyjnej staje się normą w realizacji logistycznych procesów produkcyjnych. Dlatego można przyjąć, że przemysł 4.0 wyznacza (wraz z narzędziami takimi jak Internet rzeczy, cyfrowe bliźniaki) nowe wyzwania dla realizacji procesów logistycznych w obszarze elastycznych systemów wytwarzania.

Koncepcja „Przemysłu 4.0” dąży do usprawnienia procesów przemysłowych w tym doskonalenia procesów logistycznych. Narzędzia stosowane do wdrażania tej koncepcji są innowacyjne i pozwalają dokładniej przewidywać niepożądane zdarzenia. Obawa przed nagłą zmianą (zapaścią) na rynku pracy wywołaną przez wdrażanie nowych rozwiązań jest spowodowana często brakiem wiedzy w tym zakresie. Obecnie większym zagrożeniem dla pracowników mogą być wysokie koszty pracy oraz energii. Odpowiedzialne i racjonalne wdrażanie rozwiązań „Przemysłu 4.0” może pozwolić na ułatwienie zadań pracownikom i spowodować wzrost efektywności procesu produkcyjnego. Transformacja cyfrowa umożliwi tworzenie w przyszłości zaawansowanych systemów, które sprzyjają temu, aby zmienić profil kształcenia przyszłych pracowników na bardziej zaawansowany, czyli z pracy fizycznej na serwisowo-nadzorcą.

Bibliografia

- Biniasz D., Rola i funkcje transportu wewnętrznego małych przedsiębiorstw produkcyjnych – studium przypadku, *Logistyka*, nr 3, 2014.
- Chlebus E, Krot K., Kuliberda M. (2009). Regułowo-hierarchiczna reprezentacja wiedzy w planowaniu procesów technologicznych, <https://9lib.org/document/8ydk341q-regulowo-hierarchiczna-reprezentacja-wiedzy-w-planowaniu-procesow-technologicznych.html>
- Cyfryzacja przemysłu a zmiana modelu zatrudnienia – EXPO Katowice S.A. – Rozwijamy polski przemysł! <https://expo-katowice.com/pl/cyfryzacja-przemyslu-a-zmiana-modelu-zatrudnienia-wyzwania-i-perspektywy/>
- Ford M., Świt robotów, CDP, Warszawa 2016.
- Honczarenko J., Elastyczna automatyzacja wytwarzania. Obrabiarki i systemy obróbkowe, WNT, Warszawa 2000.
- Lis S., Santarek S., Strzelczak S., Organizacja elastycznych systemów produkcyjnych, PWN, Warszawa 1994.

- Musiał W., Haracewiat J., Kozłowicz K., Assessment of the texture and topographic features of a Surface produced by the 3D printing process, *Advanced Technologies in Mechanic*, 2016, 3(4).
- Musiał W., Kordowska M., Rogowska M., Budowa i analiza systemu nanodosuwu z wykorzystaniem komputerowych technik diagnostycznych, *Mechanika*, nr 5-6, 2016.
- Musiał W., Mazurek D., Kordowska M., Jordan W., Badania procesu chłodzenia strefy obróbki w procesach wygładzania oraz szlifowania z zastosowaniem robota przemysłowego, *Mechanik*, nr 7-8, 2016.
- Musiał W., Sutowski P., CAD supported project of the autonomous mobile transport robot, *Mechanik*, nr 5-6, 2016.
- Musiał W., Witek J., Proposal for an expert system to aid decision-making in the design and management of flexible manufacturing systems. *Scientific Papers of Silesian University of Technology – Organization and Management Series*, Issue No. 186, 2023.
- Platforma przemysłu przyszłości, <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/technologie-organizacja-i-procesy-trzy-obszary-transformacji-cyfrowej/>
- Portal branżowy AutomatykaB2B, <https://automatykab2b.pl/temat-miesiaca/47660-na-czym-polega-wytwarzanie-addytywne>
- Raport World Robotics, M. Bill, C. Miller, W. Kraus, S. Bieller, IFR International Federation of Robots, Frankfurt 2022.
- Rojek I., Zastosowania metod sztucznej inteligencji w projektowaniu i nadzorowaniu procesów technologicznych obróbki skrawaniem Wydawnictwo Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz 2017.
- Stępnicka N., Bąkowska P., „Zarządzanie Logistyczne i gospodarka magazynowa w przedsiębiorstwach wybrane aspekty, http://miscellanea.ujk.edu.pl/data/Oferta/Pliki/380_27_st_pnicka.pdf
- Zawadzka L., Współczesne problemy i kierunki rozwoju elastycznych systemów produkcyjnych, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2007.

Streszczenie

W artykule przedstawiono koncepcję „Przemysłu 4.0” oraz wybrane zagadnienia transformacji cyfrowej, technologicznej, procesowej i organizacyjnej przedsiębiorstwa. Przedstawiono różnorodność narzędzi jakie wykorzystuje się przy wdrażaniu przemysłu 4,0, ze szczególnym uwzględnieniem Internetu rzeczy, który pozwala analizować i planować różnego rodzaju procesy produkcyjne dzięki odpowiedniej infrastrukturze oraz sztucznej inteligencji. A także cyfrowego bliźniaka, który jest modelem rzeczywistych urządzeń i pozwala na przeprowadzanie analiz oraz wykonywanie optymalizacji systemu i w ten sposób doskonalenie realizowanych procesów produkcyjnych. Przedstawiono ryzyka przy wdrażaniu zaawansowanych systemów zautomatyzowanych i zrobotyzowanych pod wymogi przemysłu 4.0. W artykule przedstawiono wstępną dyskusję na temat wpływu jaki wywiera automatyzacja w procesach logistycznych a zwłaszcza w obszarze procesów produkcyjnych oraz analiza wszelkich potencjalnych zysków i zagrożeń płynących z procesu robotyzacji przy uwzględnieniu wybranych interakcji z systemami informacyjnymi wspomagającymi procesy logistyczne oraz pracownikami.

Słowa kluczowe: Robotyzacja, Przemysł 4.0, Cyfrowy bliźniak, Internet rzeczy Elastyczny system produkcyjny, Logistyka produkcji.

“INDUSTRY 4.0” AND FLEXIBLE ROBOTIZATION AND AUTOMATION A DETERMINANT OF THE DEVELOPMENT OF PRODUCTION LOGISTICS PROCESSES

Summary

The concept of “Industry 4.0” seeks to streamline industrial processes including the improvement of logistics processes. The tools used to implement this concept are innovative and allow more accurate prediction of undesirable events. The fear of a sudden change (collapse) in the labor market caused by the implementation of new solutions is often caused by a lack of knowledge in this area. At present, high labor and energy costs may be a greater threat to employees. Responsible and rational implementation of solutions of „Industry 4.0” can allow to facilitate the tasks of employees and cause an increase in the efficiency of the production process. Digital transformation makes it possible to create advanced systems in the future, which are conducive to changing the training profile of future employees to a more advanced one, i.e. from manual work to service and supervision.

Keywords: Robotization, Industry 4.0, Digital twin, Internet of things Flexible manufacturing system, Manufacturing logistics.