

Karolina Trzyniec, Sławomir Kurpaska, Maciej Gliniak, Ernest Popardowski

Zastosowanie nowoczesnych technik i narzędzi informatycznych w zarządzaniu procesami logistycznymi

JEL: M11 DOI: 10.24136/atest.2019.264

Data zgłoszenia: 29.01.2020 Data akceptacji: 10.02.2020

W artykule omówiono zagadnienia dotyczące stosowania technik i narzędzi z zakresu sztucznej inteligencji do zarządzania logistyką w przedsiębiorstwie. Opisano działanie łańcucha dostaw w oparciu o Internet rzeczy oraz wspomaganie procesów logistycznych poprzez ich komputeryzację, a następnie automatyzację i robotyzację. W pod-sumowaniu, przedstawiono zarówno możliwości, ograniczenia i wyzwania, jakie stwarza stosowanie nowoczesnych technik informatycznych w logistyce.

Słowa kluczowe: logistyka 4.0, Internet rzeczy, narzędzia sztucznej inteligencji.

Wstęp

Dynamiczny rozwój gospodarki implikuje duże i szybkie zmiany w sektorze logistyki przedsiębiorstw. Ciągłe doskonalenie i wprowadzanie innowacji w planowaniu i organizacji, tj., w zarządzaniu łańcuchem dostaw. Od sprawności działania przedsiębiorstwa zależy bowiem zadowolenie klienta. Informatyzacja oraz wprowadzanie komputerów i technologii informatycznych w gospodarce jest nieodłącznym elementem funkcjonowania wszystkich podmiotów gospodarczych. Charakteryzuje to jednak epokę tzw. przemysłu 3.0. Wówczas zaczęły powstawać systemy planowania i kontroli, których celem była koordynacja działań w obrębie produkcji. Cyfryzacja danych oraz stosowanie wysokowydajnych komputerów umożliwiły sterowanie maszynami za pomocą oprogramowania. Dziś jednak, nowoczesna gospodarka funkcjonuje w pojęciu Przemysłu 4.0. Pojęcie czwartej rewolucji przemysłowej oznacza integrację inteligentnych maszyn, systemów oraz wprowadzanie zmian w procesach produkcyjnych mających w celu zwiększania wydajności wytwarzania oraz wprowadzenie możliwości elastycznych zmian asortymentu. Jak wyjaśniono na portalu przemysl-40.pl [1], Industry 4.0 to nic innego, jak integracja systemów i tworzenie sieci. „Przemysł 4.0 integruje ludzi oraz sterowane cyfrowo maszyny z Internetem i technologiami informacyjnymi. Materiały produkowane lub wykorzystywane do produkcji można zawsze zidentyfikować, mają one także możliwość niezależnego komunikowania się między sobą. Przepływ informacji jest realizowany w pionie: z poszczególnych komponentów do działu IT przedsiębiorstwa oraz z działu IT do komponentów. Drugi kierunek przepływu informacji jest realizowany w poziomie: pomiędzy maszynami zaangażowanymi w proces produkcji a systemem produkcyjnym przedsiębiorstwa” [1]. Przemysł 4.0 łączy rzeczywistą pracę ludzi i maszyn z zarządzaniem informacjami przy użyciu Internetu. Kluczowym pojęciem związanym z Przemysłem 4.0 jest więc integracja systemów. Takie zintegrowanie maszyn, systemów i ludzi umożliwia rozwój branży logistycznej. Należy przecież zaznaczyć, że ta wymiana informacji nie zamyka się jedynie w obrębie firmy, ale wykracza poza nie, włączając do kontaktu zarówno dostawców, jak i klientów [2]. Krótką charakterystykę głównych założeń rewolucji przemysłowych przedstawiono na rysunku 1.



Rys.1. Cztery rewolucje przemysłowe (źródło: <http://przemysl-40.pl/>)

Wymiana informacji w całym toku produkcji, wymienianych pomiędzy ludźmi, maszynami i systemami, następuje automatycznie poprzez zastosowanie systemów informatycznych (zwanych potocznie systemami IT) począwszy od złożenia przez klienta zamówienia (lub nawet złożenia klientowi oferty), aż po dostarczenie mu towaru bądź usługi. Elementy Przemysłu 4.0, wspierające przedsiębiorcę w realizowaniu zadań, przedstawiono na rysunku 2.



Rys.2. Kluczowe elementy Przemysłu 4.0. (źródło: <http://www.tsl-biznes.pl/newsy/przemysl-4-0-w-logistyce/>)

Technologie wykorzystywane w Przemysle 4.0 doskonale wpisują się w zadania stawiane jednostkom zarządzającym łańcuchami dostaw. Tym samym, umożliwiają coraz sprawniejszą i lepszą organizację wszystkich procesów logistycznych. Integracja pracy ludzi, maszyn oraz systemów, umożliwia jednocześnie integrację poszczególnych procesów, a co za tym idzie – obniżenie kosztów. Dzięki optymalizacji czasu i kosztów logistyki w przedsiębiorstwie, możliwe jest zapewnienie szybkiego reagowania (np. na potrzeby klienta), zaspokajania szybko zmieniającego się popytu, elastyczności przedsiębiorstwa (tj. umiejętności dostosowania się do optimum), optymalnego wykorzystania zasobów firmy oraz wykorzystania wszystkich dostępnych informacji [3]. Zastosowanie narzędzi informatycznych znanych w Przemysle 4.0, w odniesieniu do inteligentnego zarządzania procesami logistycznymi oraz stworzenia cyfrowego łańcucha dostaw, ukryte jest pod pojęciem Logistyki 4.0.

1. Systemy wykorzystywane w Logistyce 4.0

1.1. Współpraca ludzi i maszyn

Wdrożenie do przemysłu nowych technologii, w tym również informatycznych, wymaga opracowania nowej koncepcji współpracy ludzi z tymi technologiami. Przemysł 4.0 co prawda opiera się na automatyzacji i robotyzacji procesów, ale nie oznacza to wcale, że wyklucza on całkowicie pracę człowieka. Praca ta przybiera jednak inny charakter. Nowe rozwiązania mają za zdanie wyřęcać go w najcięższych pracach fizycznych (np. poprzez zastosowanie robotów), zwiększając tym samym wydajność pracy oraz wspierać człowieka w optymalnym zarządzaniu procesami – por. rys.3. Implikuje to jednak konieczność podwyższania kwalifikacji pracowników, których rola ogranicza się często do sterowania tymi systemami.

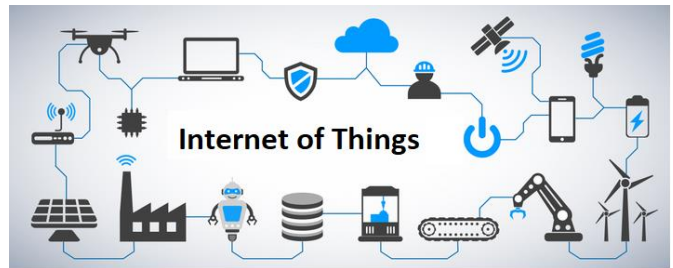


Rys.3. Zautomatyzowana produkcja samochodów. (źródło: <https://iautomatyka.pl/zautomatyzowana-fabryka-samochodow-tesli-seria-filmow/>)

Najważniejszym elementem pracy człowieka w nowoczesnej logistyce jest obsługa systemów informatycznych wspomagających realizowanie łańcucha dostaw. Wymaga to od pracownika znajomości oprogramowań, programów i systemów logistycznych oraz obsługi urządzeń komunikujących się ze sobą wzajemnie za pomocą sieci internetowej. Należy pamiętać, że systemy oparte na technologiach informatycznych mają jedynie wykonywać pracę za człowieka, ale wciąż niezbędne jest ich nadzorowanie i sprawna obsługa.

1.2. Internet rzeczy

Internet rzeczy rozumiany jest jako sieć urządzeń połączonych ze sobą i za pomocą sieci Internetowej, dzięki czemu mogą się one komunikować między sobą. Pierwszy raz, terminu Internet Rzeczy (*ang.* Internet of Things, w skrócie IoT), użył w 1999 roku Kevin Ashton, określany mianem eksperta w dziedzinie innowacji cyfrowych [4]. Wzajemne komunikowanie się maszyn i urządzeń technicznych może być realizowane automatycznie, jednak w coraz większym zakresie realizuje się to z wykorzystaniem użytkownika, wyposażonego w urządzenie sterujące. Istotę Internetu rzeczy przedstawiono graficznie na rysunku 4. Współczesna technologia IoT nie wymaga infrastruktury przewodowej, serwerów ani anten i jest łatwiejsza do zintegrowania z istniejącą infrastrukturą. Podstawową funkcją Internetu rzeczy jest stworzenie inteligentnych przestrzeni, np. inteligentnych miast, transportu, produktów, budynków, systemów energetycznych, systemów zdrowia czy związanych z życiem codziennym. Z kolei podstawą rozwoju takich inteligentnych przestrzeni jest opracowanie i dostarczenie technologii, która zapewni ich realizację.



Rys.4. Graficzne przedstawienie istoty IoT, (źródło: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/09/02/what-is-industry-4-0-heres-a-super-easy-explanation-for-anyone/>)

Zastosowanie Internetu rzeczy w procesach związanych z logistyką przedsiębiorstwa wymusza łączenie ze sobą coraz większej ilości urządzeń. Implikuje to możliwość gromadzenia, przetwarzania i aktywnej wymiany danych. Gromadzenie informacji odbywające się obecnie najczęściej w sposób bezprzewodowy, z wielu punktów pomiarowych, wielu urządzeń, umożliwiają analizy i ułatwiają podejmowanie decyzji [5]. Urządzenia IoT stosowane w przemyśle mają już nawet swoją nazwę – określane są mianem Przemysłowego IoT. Ciągłe rosnący postęp w przemyśle 4.0, wymusza również dynamiczny rozwój technologii IoT. Jak pisze Poniewierski [6], „obecnie dominująca na świecie koncepcja IoT oraz co najważniejsze oczekiwania, jakie są wobec niej formułowane przez poszczególne branże są o wiele bardziej klarowne i realistyczne niż wcześniej. Kierunki działań wobec IoT wyznaczają obecnie dwa priorytety: zwiększenie efektywności wykorzystania zasobów mierzalnych przez sensory oraz generowanie nowych źródeł przychodów pochodzących z danych”.

Dostęp do informacji dostarczanych z urządzeń i sensorów pozwala nie tylko skrócić czas przestoju maszyn, ale również usunąć ewentualne usterki w jak najszybszym czasie. Przemysłowy Internet rzeczy pozwala oszczędzić koszty napraw, konserwacji, przestoju, a nawet energii elektrycznej. Technologię Internetu rzeczy w logistyce wykorzystuje się najczęściej do: monitorowania transportu w czasie rzeczywistym, bieżącej analizy stanu technicznego maszyn i pojazdów, automatycznego planowania i prognozowania (tras, zamówień, dostaw, kosztów, sprzedaży itp.), cyfryzacji łańcucha dostaw, ochrony mienia, identyfikacji procesów, optymalizacji procesów, zarządzania dostawami oraz analizowania i rozwijania potencjału ludzkiego.

Zaletą stosowania takich systemów w logistyce przedsiębiorstwa jest niewątpliwie minimalizacja kosztów, optymalizacja czasu pracy (ludzi i maszyn), zwiększenie wydajności pracy, wzrost jakości oferowanych towarów i, przede wszystkim, usług oraz kreowanie szans na konkurencyjną ofertę na rynku. Należy jednak pamiętać, że wyzwaniem dla przedsiębiorstwa będzie konieczność zabezpieczenia danych oraz inwestycji w ewentualną obsługę i serwis urządzeń.

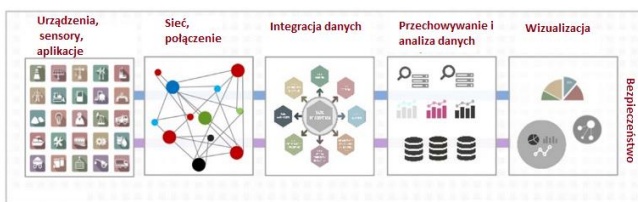
1.3. Chmury obliczeniowe i platformy IoT

Stosowanie Internetu rzeczy w usprawnianiu logistyki przedsiębiorstwa implikuje konieczność przetwarzania ogromnych ilości danych. Dostarczanie usług polegających na procesach obliczeniowych (przetwarzaniu) uzyskiwanych danych za pośrednictwem sieci internetowej realizowane jest poprzez kreowanie tak zwanych chmur obliczeniowych. Wykorzystuje się w tym celu serwery, internetowe magazyny danych, bazy danych. Klasyczne serwery zajmują mnóstwo miejsca i pochłaniają spore ilości energii elektrycznej. Stosowanie chmur obliczeniowych eliminuje koszty zakupu niezbędnego sprzętu i działania lokalnych centrów danych i zapewnia większą elastyczność skalowania. Największe usługi chmury obliczeniowej działają w światowej sieci bezpiecznych centrów danych,

co zapewnia mniejsze opóźnienia sieciowe [7]. Centra te zapewniają również zabezpieczenie danych przed zagrożeniami oraz tworzenie kopii zapasowych na wypadek awarii lub usterek systemu. Kolejną przewagą chmury obliczeniowej nad klasycznym serwerem danych jest szybkość wykonywania operacji i skalowania pojemności oraz większa bezawaryjność technologii [7].

Mianem platformy obliczeniowej można określić oprogramowanie, którego zadaniem jest pełnienie roli łącznika pomiędzy poszczególnymi elementami wchodzącymi w skład systemu Internetu Rzeczy [8]. Składa się ona z kilku elementów, które odpowiadają za: komunikację pomiędzy elementami systemu, zarządzanie danymi, przechowywanie danych i ich analizę, wizualizację danych oraz możliwość integracji z oprogramowaniem zewnętrznym [8] – por. rys. 5.

Architektura Platformy IoT



Rys.5. Architektura platformy IoT, (źródło: <https://www.altoros.com/blog/adopting-an-iot-platform-things-to-know-and-pitfalls-to-avoid/>)

Zadaniem platformy IoT jest dostarczanie rozwiązań programowych i bazodanowych dla poprawnego działania urządzeń skonfigurowanych do wspólnego działania, ale zakres działania zależy od komponentu platformy. Jak podaje portal itt.pl, „wyszczególnia się 9 komponentów, które powinny znajdować się w architekturze platformy IoT. Wśród nich wymienia się:

- **łącność i normalizację** – element odpowiedzialny za to, aby dane pobierane z różnych urządzeń, przy pomocy różnych sposobów komunikacji, posiadały spójny format danych,
- **zarządzanie urządzeniami** – moduł ten odpowiada m.in. za możliwość zdalnej aktualizacji oprogramowania na urządzeniach wchodzących w skład systemu IoT, przesyłania im poleceń do wykonania, np. pobrania wartości temperatury gleby,
- **bazy danych** – komponent niezbędny do zbierania i przechowywania informacji zebranych z czujników, które następnie poddawane są analizie,
- **zarządzanie procesami** – element działający według opracowanych reguł na informacjach pochodzących w czasie rzeczywistym z czujników systemu IoT,
- **analitika** – element bezpośrednio współpracujący z komponentem, odpowiedzialny za zarządzanie procesami oraz przeznaczony do wykonywania obliczeń na danych historycznych,
- **wizualizacja danych** – umożliwia użytkownikom przeglądanie dostępnych danych w postaci różnego rodzaju wykresów i/lub modeli 3d,
- **interfejsy zewnętrzne** – integracja z systemami innych producentów i pozostałymi częściami szerszego ekosystemu IT, za pośrednictwem wbudowanych interfejsów programowania aplikacji – API, zestawów programistycznych – SDK oraz Gateway,
- **dotatkowe narzędzia** – bardzo ciekawy element, jego zadaniem jest udostępnienie użytkownikom platformy możliwości prototypowania, testowania i wprowadzania przypadków użycia, przed docelowym wdrożeniem,
- **bezpieczeństwo** – komponent, który odpowiada za pozostałe 8 elementów architektury platformy IoT” [8].

Istnieje bardzo wiele rozwiązań platform IoT włączając w to platformy sprzętowe, platformy ukierunkowane na analizę danych i usługowe [9].

1.4. Kastomizacja produktów

Dynamicznie zmieniające się potrzeby przedsiębiorstw determinują konieczność dostosowania produktu pod wytyczne klienta. Masowa kastomizacja produktów i usług nie jest już nowością i na rynku systemów logistycznych wyparła masową produkcję. Przy czym koszt produkt indywidualnego, spersonalizowanego na potrzeby klienta, nie odbiega znacząco ceną od produktu masowego. Z drugiej strony, przedsiębiorcy, którzy decydują się na zastosowanie nowoczesnych technik informatycznych wspomagających zarządzanie procesami logistycznymi, chcą dzięki temu zoptymalizować koszty masowej produkcji. W odniesieniu do logistyki wyróżniamy więc dwa problemy: dostosowanie logistyki przedsiębiorstwa w celu możliwości realizowania spersonalizowanych zamówień oraz personalizowanie systemu logistycznego, np. w celu prowadzenia produkcji/sprzedaży masowej. Możliwe jest również równoczesne rozwiązanie obu tych sytuacji.

W przypadku pierwszej z nich, należy wziąć pod uwagę, że masowa kastomizacja wymaga przebudowy logistyki wewnątrzorganizacyjnej oraz zmiany zarządzania zapasami i dystrybucją produktów. System logistyczny musi być bardziej elastyczny niż w tradycyjnych organizacjach [10]. Z kolei indywidualnie opracowane systemy logistyczne i informatyczne, zgodnie z podejściem systemowym, spajają organizację i umożliwiają bardziej wydajną pracę wszystkich działów przedsiębiorstwa [11]. Projektowanie systemów logistycznych dla przedsiębiorstw jest złożonym, a jednocześnie ważnym problemem. Łączy ono w sobie zagadnienia zarówno inżynierskie jak i biznesowe, co wymaga podejścia holistycznego i zastosowania zasad i praw z wielu dziedzin nauki [12]. Przystępując do projektowania systemu logistycznego należy uwzględnić: branżę, strukturę i wielkość przedsiębiorstwa, rodzaj produkcji, strukturę produkcji i produktu, strukturę dostawców i odbiorców, wymagania odbiorców wewnętrznych i zewnętrznych w stosunku do poziomu obsługi logistycznej oraz koszty obsługi logistycznej. Niewłaściwa konfiguracja systemu logistycznego lub pominięcie któregoś z wymienionych cech firmy, prowadzi do podwyższenia kosztów działalności logistycznej oraz obniżenia poziomu obsługi klientów. W takiej sytuacji powinna być podjęta decyzja o usprawnieniu funkcjonowania systemu logistycznego firmy [12].

1.5. Systemy oparte na sztucznej inteligencji

Sztuczna inteligencja (ang. artificial intelligence, AI) to dziedzina wiedzy obejmująca logikę rozmytą, obliczenia ewolucyjne, sieci neuronowe, sztuczne modele życia i robotykę. Jest to również dział informatyki zajmujący się inteligencją – tworzeniem modeli zachowań inteligentnych oraz programów komputerowych symulujących te zachowania. Jednak w najprostszym ujęciu, sztuczna inteligencja to systemy lub maszyny, które naśladują ludzką inteligencję podczas wykonywania zadań i mogą się iteratywnie poprawiać na podstawie zbieranych informacji. Należy jednak pamiętać, że jest to hipotetyczna inteligencja realizowana w procesie inżynierskim, a nie naturalnym [13]. Ponieważ centralnym zamierzeniem badań nad sztuczną inteligencją jest odtworzenie ludzkiego postrzegania rzeczywistości i reagowania na nią [14], a następnie wykroczenie poza właściwe im ograniczenia, sztuczna inteligencja szybko staje się fundamentem innowacji w zarządzaniu procesami logistycznymi.

Technologia oparta na działaniu narzędzi sztucznej inteligencji poprawia wydajność i produktywność przedsiębiorstwa przez automatyzację procesów lub zadań, które kiedyś wymagały zaangażowa-

nia ludzi. Sztuczna inteligencja może również nadawać sens danym, których skala wykracza poza możliwości interpretacji przez człowieka [14]. Wdrożenie takich systemów może szybko stać się przyczyną znacznych korzyści ekonomicznych przedsiębiorstwa. Sztuczna inteligencja niesie wartość dla prawie każdej branży i firmy oraz każdego wydziału w firmie. Dlatego analityka i analiza biznesowa to dziś najbardziej strategiczne technologie dla firm [14]. Generowane przez sztuczną inteligencję zalecenia mogą być podstawą do podejmowania trafniejszych decyzji lub otrzymywania dokładnych, niespodziewanych prognoz. To finalnie daje przedsiębiorstwu przewagę konkurencyjną.

W praktyce, narzędzia sztucznej inteligencji stosuje się do: oceny i optymalizacji procesów, minimalizacji kosztów, maksymalizacji zysków, prognozy, planowania wydajności, wyszukiwania, śledzenia i przemieszczania (np. towarów w magazynach), automatycznej obsługi klientów i wiele innych.

Podsumowanie

Nowoczesne technologie oparte na systemach informatycznych należy bez obaw stosować do zwiększenia produktywności przedsiębiorstwa. Możliwe jest przy tym również zachowanie dotychczasowego poziomu zatrudnienia. Wdrożenie do przedsiębiorstwa elementów Logistyki 4.0, opartych na działaniu sztucznej inteligencji i Internetu rzeczy, pozwala zminimalizować koszty i zwiększyć zyski, a więc zapewnia realizację podstawowego celu ekonomicznego każdej firmy. Aby więc zachować konkurencyjność, każde przedsiębiorstwo będzie niebawem musiało wdrożyć system informatyczny, mniej lub bardziej rozbudowany. Wyzwaniem jest jednak wciąż zbyt mała liczba pracowników z właściwymi umiejętnościami, którzy potrafiliby skorzystać z nowych technologii.

Bibliografia:

1. Piątek Z., Czym jest Przemysł 4.0? Część I, pozyskano z: <http://przemysl-40.pl/> (dostęp: 15.11.2019), 2017.
2. Jaki wpływ ma Przemysł 4.0 na współczesną logistykę? Pozyskano z: <https://www.comp-win.pl/blog/wplyw-przemysl-4-0-wspolczesna-logistyka/> (dostęp: 15.11.2019).
3. Bujak A., „Rewolucja przemysłowa – 4.0” i jej wpływ na logistykę XXI wieku, *Autobusy*, 2017, nr 6.
4. Bień-Chudarek S. Internet rzeczy – czym jest i jaki ma wpływ na nasze życie. Pozyskano z: <https://gomobi.pl/blogi/internet-rzeczy-czym-jest-i-jaki-ma-wplyw-na-nasze-zycie/> (dostęp: 15.11.2019), 2015.
5. Piątek Z., Jak optymalizować produkcję z wykorzystaniem IoT? Pozyskano z: <http://przemysl-40.pl/index.php/2019/06/18/internet-rzeczy-w-przemysle-3/> (dostęp: 15.11.2019), 2019.
6. Poniewierski A. Komentarz do artykułu: Piątek Z., Internet rzeczy w przemyśle, Pozyskano z: <http://przemysl-40.pl/index.php/2019/06/13/internet-rzeczy-w-przemysle-2/> (dostęp: 15.11.2019), 2019.
7. Czym jest chmura obliczeniowa? Pozyskano z: <https://azure.microsoft.com/pl-pl/overview/what-is-cloud-computing/> (dostęp: 15.11.2019)
8. Platforma IoT – niezbędne informacje. Pozyskano z: <http://iot.pl/platforma-iot-niezbedne-informacje/> (dostęp: 15.11.2019), 2018.
9. Krupanek B., Bogacz R., Węzły końcowe systemów Internetu rzeczy, *Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej*, 2018, Nr 59
10. Piątkowski A. Masowa kastomizacja jako strategia uzyskania przewagi konkurencyjnej w XXI wieku, *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, Nr 1, 2017.
11. Hou J., Su. D., EJB-MVC oriented supplier selection system for mass customization, *Journal of Manufacturing Technology Management* No. 18(1), 2007, 54-71.
12. Brzeziński M., Procesy projektowania systemów logistycznych, *Logistyka*, Nr 6, 2014.
13. Wawrzala P., Po co nam sztuczna inteligencja? Referat na seminarium naukowym „Człowiek we współczesnej nauce” organizowanym przez Kolegium Pedagogiczne Politechniki Śląskiej 23.04.2015.
14. Czym jest sztuczna inteligencja? Pozyskano z: <https://www.oracle.com/pl/artificial-intelligence/what-is-artificial-intelligence.html> (dostęp: 15.11.2019)

Źródła zdjęć:

15. <http://przemysl-40.pl/>
16. <http://www.tsl-biznes.pl/newsy/przemysl-4-0-w-logistyce/>
17. <https://iautomatyka.pl/zautomatyzowana-fabryka-samochodow-tesli-seria-filmow/>
18. <https://www.altoros.com/blog/adopting-an-iot-platform-things-to-know-and-pitfalls-to-avoid/>

The use of modern IT techniques and tools in managing and supporting logistics processes

The article discusses issues regarding the use of techniques and tools in the field of artificial intelligence to manage logistics in the enterprise. The operation of the supply chain was described based on the Internet of Things and the support of logistics processes through their computerization, followed by automation and robotization was described. In summary, the possibilities, limitations and challenges posed by the use of modern IT techniques in logistics are presented.

Key words: logistics, Internet of things, artificial intelligence tools

Autorzy:

dr inż. **Karolina Trzyniec** – Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Katedra Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych, e-mail: karolina.trzyniec@urk.edu.pl

prof. dr hab. inż. **Sławomir Kurpaska** – Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Katedra Inżynierii Bioprocessów, Energetyki i Automatykacji, e-mail: slawomir.kurpaska@urk.edu.pl

dr inż. **Maciej Gliniak** – Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Katedra Inżynierii Bioprocessów, Energetyki i Automatykacji, e-mail: maciej.gliniak@urk.edu.pl

mgr inż. **Ernest Popardowski** – Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Katedra Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych, e-mail: ernest.popardowski@urk.edu.pl