

JADWIGA TOPCZEWSKA¹, SANDRA KRUPA²

¹Zakład Produkcji Zwierzęcej i Oceny Produktów Drobiarskich, Kolegium Nauk Przyrodniczych, Uniwersytet Rzeszowski, e-mail: jtopczewska@ur.edu.pl, ²SKN Animal Equus, Uniwersytet Rzeszowski

**ZRÓWNOWAŻONA LOGISTYKA ŻYWNOŚCI
A TECHNOLOGIE PRZEMYSŁU 4.0**

Zrównoważony rozwój logistyki w branży spożywczej wymaga zaimplementowania technologii Przemysłu 4.0. Technologie te przyczynią się do poprawy wydajności z utrzymaniem wysokiej jakości i bezpieczeństwa żywności. Optymalizacja procesów logistycznych dzięki systemom cyber-fizycznym to również redukcja kosztów, zwłaszcza procesów transportowych, ograniczenie marnotrawstwa żywności, elastyczna produkcja z oszczędnym gospodarowaniem zasobami, zmniejszenie emisji dwutlenku węgla. Zielona i zrównoważona logistyka wykorzystująca innowacyjne technologie powinna być podstawowym elementem gospodarki o obiegu zamkniętym. W pracy przedstawiono przykładowe technologie umożliwiające osiągnięcie zrównoważonej i zielonej logistyki w branży spożywczej.

Słowa kluczowe: innowacyjne technologie, cyfryzacja, przemysł spożywczy, logistyka 4.0

I. WSTĘP

Termin logistyka pojawił się już ponad sto lat temu i związany był z przemieszczaniem wojsk i jego zaopatrzeniem [Stevenson 2010]. Podejście logistyczne na gruncie działalności gospodarczej przedsiębiorstw przedstawił w 1955 roku O. Morgenster, definiując operację logistyczną jako dostarczenie ściśle określonych wielkości dóbr fizycznych oraz usług dla konkretnych rodzajów działalności [Mroczko 2016]. Obecnie termin jest używany do określenia wszelkiego przepływu dóbr fizycznych [Bendkowski 2013] i logistyka obejmuje cały cykl czynności przedprodukcyjnych, w produkcji i po produkcji. Logistyka żywności stanowi istotny element w łańcuchu dostaw żywności, spełniania wymagań konsumentów jako efekt dostarczenia odpowiedniego produktu, w wymaganej ilości, przy dostawie na czas i przy niskich kosztach [Jagtap i in. 2021]. W jej zakres wchodzi logistyka w temperaturach otoczenia oraz niskich, planowanie, wykonanie oraz skuteczny monitoring dla zaspokojenia oczekiwań konsumentów i ograniczenia marnotrawstwa. Firmy logistyczne działające w branży spożywczej wdrażały na przestrzeni ostatnich lat przede wszystkim technologie informatyczne, co pozwalało usprawnić proces zarządzania. Wynikało to z konieczności uwzględniania przepisów dotyczących bezpieczeństwa żywności, dostosowania do zmieniających się warunków drogowych, doskonalenia poziomu usług ale również aspektów środowiskowych. Wymagania klientów wymuszają wdrażanie zaawansowanych systemów zarządzania, co związane jest m.in. z globalizacją, zmianami demograficznymi, zapotrzebowaniem na

spersonalizowane produkty spożywcze czy ograniczeniem wynikającym z terminu ich przydatności do spożycia.

Przemysł 4.0 jest określeniem wywodzącym się z projektu rządu niemieckiego. Zaprezentowany w 2011 roku podczas Hanowerskich Targów Technologii Przemysłowych, kładzie nacisk na łączenie inteligentnych technologii produkcji, maszyn, systemów, wdrażania inteligentnych procesów, dostarczania inteligentnych produktów i usług w połączeniu z technologiami informacyjnymi i cyfrowymi. Głównym celem technologii Przemysłu 4.0 jest zapewnienie zwinności i elastyczności przy szybkiej produkcji i wysokiej jakości a tym samym poprawie opłacalności [Sun i in. 2021]. Dodatkowym wyzwaniem staje się nacisk na zrównoważony rozwój przedsiębiorstw. Są one współodpowiedzialne za środowisko, co również w przypadku branży rolno-spożywczej przekłada się na wysokie wymagania i poszukiwanie takich rozwiązań, które spełnią oczekiwania w aspekcie ekologicznej i zrównoważonej logistyki. Rozwój nowych technologii i innowacje w logistyce powinny dać rezultaty również w zakresie zrównoważonego rozwoju i zachowania środowiska przyrodniczego. Sugerowane korzyści to m.in. ograniczenie ilości odpadów oraz recykling, oszczędność energii czy redukcja emisji. Łańcuch dostaw żywności obejmuje kilka faz, od zakupu surowców rolnych na poziomie produkcji podstawowej poprzez przetwórców, konfekcjonowanie, przechowywanie, dystrybucję i redystrybucję do konsumentów końcowych. Jak podaje Kosior [2022], cyfrowa transformacja w przemyśle spożywczym przebiega stosunkowo powoli i nadal nie obejmuje wielu przedsiębiorstw. Dominujący model cyfryzacji koncentrował się w ostatnich latach na taktycznych działaniach prowadzących do poprawy wskaźników efektywności i pozycji konkurencyjnej przedsiębiorstw, natomiast w mniejszym stopniu inwestycje te powiązane były z celami środowiskowymi. Jednocześnie zrównoważony rozwój można osiągnąć dzięki wdrożeniu najlepszych praktyk zarządzania, innowacyjnych technologii i systemów powiązanych z poprawą warunków społecznych i środowiskowych. Na przyspieszenie zmian cyfrowych w sektorze przemysłu spożywczego wpłynęła pandemia COVID-19. Wzrosło zainteresowanie przedsiębiorców zakupem usług przetwarzania w chmurze, nastąpił rozwój sprzedaży online, jak i wykorzystujących Internet rzeczy. Cyfryzacja doprowadziła do wzrostu liczby przedsiębiorstw typu start-up, które opierały swoje modele biznesowe na innowacjach, Internecie i aplikacjach mobilnych, co dodatkowo w dobie pandemii wzmocniło tę kategorię przedsiębiorstw w sektorze rolno-spożywczym. Jak podaje Kosior [2022], szybsze tempo cyfryzacji obserwowane było w krajach, w których rosnące koszty pracy wymuszały na przedsiębiorstwach inwestycje w nowe technologie, w tym w automatyzację i robotyzację opartą na wykorzystaniu danych i Internetu rzeczy.

Celem pracy była analiza technologii Przemysłu 4.0 możliwych do wykorzystania w logistyce żywności dla jej zrównoważonego rozwoju. Dlatego omówiono wykorzystanie nowych technologii, takich jak chmura, Internet rzeczy, sztuczna inteligencja, Big data, zaawansowana robotyka i automatyzacja, symulacja.

II. MATERIAŁY I METODY

Dokonano przeglądu dostępnej w bazie Google Scholar literatury z uwzględnieniem obszarów uznanych za istotne pod względem charakterystyki nowoczesnych technologii Przemysłu 4.0, implementowanych w logistyce w branży rolno-spożywczej. Ponadto kryterium uwzględnienia w przeglądzie było wskazanie efektów w Logistyce 4.0 w zakresie optymalizacji sieci logistycznych, zmniejszenia śladu węglowego, minimalizacji odpadów czy ograniczenia emisji. Uwzględniono słowa kluczowe takie jak: logistyka zrównoważona, logistyka

żywności, technologie Przemysłu 4.0. Analiza wybranych prac wskazała na korzyści w aspekcie założonego kryterium dla innowacyjnych technologii, takich jak chmura, Internet rzeczy, sztuczna inteligencja, Big data, zaawansowana robotyka i automatyzacja i symulacja przynoszące efekty dla założonego kryterium.

III. WYNIKI

Chmura

Chmura to system służący do przechowywania danych na wielu serwerach, zarządzanych najczęściej przez firmę hostingową, zapewniającą zarówno dostępność jak i bezpieczeństwo danych. Technologie chmury tworzą architekturę zorientowaną na usługi (PaaS), oprogramowanie jako usługi (SaaS) oraz informacji jako usługi (IaaS) [Benotmane i in. 2017, Wodnicka 2019]. Technologie chmury mogą odgrywać kluczową rolę w zrównoważonej produkcji dzięki łączeniu procesów, automatyzacji, zwiększonej odporności oraz znaczącej redukcji odpadów, ponownemu wykorzystywaniu i odzyskowi [Fisher i in. 2018]. Technologia ta może wspierać operacje logistyczne w branży spożywczej dzięki m.in. dostępności informacji z różnych działów w czasie rzeczywistym, co poprawia komunikację między agentami łańcucha dostaw żywności, a tym samym przyspiesza procesy zaopatrzenia. Korzystanie z chmury pozwala firmom zmniejszyć zużycie energii a jednocześnie dzięki dostępowi do informacji przyspieszyć wykonywanie niektórych operacji. Wykorzystanie chmury jest obecne w firmach branży spożywczej, prowadzących duże operacje logistyczne. Dodatkowo wzrost zainteresowania sprzedażą online oraz konieczność zapewnienia odpowiednich warunków do pracy zdalnej przełożyły się na wzrost zainteresowania wykorzystaniem usług przetwarzania w chmurze. Cechy technologii chmurowej, takie jak skalowalność, elastyczność oraz dostęp z każdego miejsca, okazały się szczególnie istotne w kontekście prowadzenia działalności gospodarczej w okresie pandemii [Trzop 2020, Kosior 2022]. Usługi przetwarzania w chmurze mogą być proste, jak usługi poczty elektronicznej, do bardziej zaawansowanych, jak oprogramowanie i bazy danych w chmurze. Według bazy Eurostat [2021], w latach 2020 i 2021 odsetek przedsiębiorstw przemysłu spożywczego korzystających z technologii chmury obliczeniowej wzrósł do 30%. Jak podaje Kosior [2022], pandemia Covid-19 doprowadziła do zerwania wielu łańcuchów dostaw, wpłynęła także na preferencje konsumentów dotyczące żywności oraz sposobów jej dystrybucji a przedsiębiorstwa typu start-up, wykorzystujące elastyczne techniki zarządzania, reagowały szybko na zmieniające się potrzeby rynku. Oferowały konsumentom innowacyjne produkty żywnościowe, w tym produkty spersonalizowane, cyfrowe rozwiązania usprawniające funkcjonowanie i przejrzystość łańcucha dostaw żywności (w tym aplikacje dla branży delivery), jak i narzędzia służące budowie bardziej zrównoważonego systemu żywnościowego (np. aplikacje ograniczające marnotrawstwo żywności, czy kuchnie wirtualne uruchamiane przy wykorzystaniu technologii chmurowej) [Kosior 2022]. Z kolei model *direct-to-store* umożliwia dystrybucję bezpośrednią z pominięciem centrów logistycznych i centrów dystrybucji [Trzop 2020]. Platforma chmurowa umożliwia współpracę firmy z dostawcami i spedytoraми z całego świata przyczyniając się do racjonalnego gospodarowania zapasami czy optymalizacji w gospodarowaniu opakowaniami.

Internet rzeczy (IoT)

Popularne zastosowanie IoT w logistyce żywności to wykrywanie pojemności w przestrzeni magazynowej, planowanie i raportowanie, np. daty i godziny dostawy, optymalizacja tras,

zarządzanie energią, utrzymywanie zadanej temperatury, wykrywanie usterek i rozwiązywanie problemów, zarządzanie środowiskiem w pomieszczeniu. IoT to osadzone na fizycznych obiektach czujniki i różne mechanizmy oraz oprogramowanie pozwalające na wymianę informacji z innymi urządzeniami przez Internet. Obejmuje wszystko, co może łączyć się przez Internet, ale jest wykorzystywane do definiowania rzeczy, które się ze sobą komunikują [Antonowicz i in. 2018]. Przykładem mogą być maszyny vendingowe. Wykorzystywane głównie do wydawania napojów, jedzenia, gazet, obecnie również w procesie produkcji. Ich główne zalety to ograniczenie ryzyka popełniania błędów, co jest istotne dla bezpieczeństwa żywności, zwiększona produktywność, ograniczenie marnotrawstwa. Podobnie inteligentne zarządzanie w magazynie to organizacyjno-funkcjonalne ogniwo zdolne do efektywnego sterowania procesami. Każdy magazyn wyposażony jest w rozbudowany system komunikacji, niezbędnej dla inteligentnego zarządzania [Antonowicz i in. 2018]. IoT może zostać włączony w system planowania zasobów przedsiębiorstwa. Przykładem może być system wczesnego ostrzegania o jakości surowca, co skutkuje obniżeniem kosztów i poprawą bezpieczeństwa żywności, wydajności oraz ograniczeniem strat w procesie produkcji i dystrybucji. Wykorzystanie Internetu rzeczy w transporcie umożliwia monitorowanie przesyłek, analizowanie stanu technicznego pojazdu czy pojawienie się awarii [Smarzyńska i Stanisławska 2019]. Wdrażane przez firmy transportowe rozwiązania pozwalają ograniczyć zużycie paliwa, zwiększyć poziom bezpieczeństwa, a poprzez sprawne zarządzanie flotą i przesyłkami ograniczyć emisję. Poprawa ekonomiki paliwowej przyczynia się do zmniejszenia stopnia oddziaływania na środowisko naturalne [Trzop 2020]. Globalizacja wymusza u firm transportowych wprowadzanie szeregu zmian wynikających z konieczności dostosowania się do wymagań rynku, dlatego wykorzystanie innowacyjnych technologii staje się niezbędne. Wdrożenie rozwiązań IoT prowadzi do utworzenia nowego ekosystemu, który zapewnia lepszą efektywność oraz ogranicza degradację środowiska [Smarzyńska i Stanisławska 2019]. Na niedostateczną integrację celów środowiskowych wskazują m.in. dane dotyczące sposobów wykorzystania Internetu rzeczy w sektorze spożywczym [Kosior 2022]. Choć w 2021 roku już niemal 30% przedsiębiorstw zatrudniających 10 i więcej osób posiadało urządzenia i systemy, które można było monitorować lub zdalnie kontrolować za pomocą Internetu rzeczy, tylko 11% wykorzystywało je do optymalizowania zużycia energii w zakładach. Równie niewielki odsetek przedsiębiorstw sektora (12%) wykorzystywało Internet rzeczy do monitorowania stanów magazynowych czy śledzenia produktów w łańcuchu dostaw, co mogłyby służyć m.in. weryfikacji jakości surowców pozyskiwanych do procesów przetwórstwa [Kosior 2022].

Sztuczna inteligencja (AI)

Jak podaje Rózanowski [2007], po raz pierwszy termin „sztuczna inteligencja” został zaproponowany i zdefiniowany w roku 1955 przez Johna McCarthy’ego. Sztuczna inteligencja (ang. Artificial intelligence, AI), to dział informatyki zajmujący się konstruowaniem maszyn i algorytmów, których działanie posiada znamiona inteligencji. Oznacza to zdolność do samorzutnego przystosowywania się do zmiennych warunków, podejmowania skomplikowanych decyzji, uczenia się, rozumowania abstrakcyjnego, itp. Postępy w uczeniu maszynowym poszerzają możliwości zastosowań ich potencjału dla optymalizacji procesów łańcucha dostaw, w tym zmniejszeniu marnotrawstwa żywności, kontrolę warunków magazynowania, wybór dostawców. Technologie te są już wykorzystywane głównie do wymiany informacji w celu zapewnienia sprawnego przepływu dostaw. W procesie technologii mięsa, jak podaje Maksymiec i in. [2015], niedestrukcyjne mierniki kontroli jakości wyrobów mięsnych mają coraz większe znaczenie. Wśród nich wymienia się analizę danych wykorzystującą specjalistyczne

programy, których zadaniem jest akwizycja danych i ich eksploracja z wykorzystaniem sztucznej inteligencji (np. sieci neuronowe, zbiory rozmyte, metody ewolucyjne i samo-uczenia) do poszukiwania nieoczywistych związków przyczynowo skutkowych. Inteligentny transport może przyczynić się do ograniczenia emisji [Tang i Veelenturf 2019]. Łączenie przesyłek, wykorzystanie kierowców – osób fizycznych do dostarczenia paczek sąsiadom w drodze do domu (tzw. crowdshipping) zmniejsza liczbę dostaw za pośrednictwem firm kurierskich co ogranicza emisję. Jak podaje Gružas i in. [2019], zarządzanie łańcuchem dostaw może generować duże ilości odpadów spożywczych, co wynika z rosnącego poziomu urbanizacji, zapotrzebowania konsumentów na produkty ekologiczne oraz rozwój kanału dystrybucji e-commerce. Natomiast wykorzystanie algorytmów uczenia maszynowego w procesie prognozowania zapewnia możliwości adaptacyjne dla członków łańcucha dostaw. Poprawia dostosowanie popytu i podaży a tym samym zmniejsza poziom marnotrawstwa żywności.

Big Data

Logistyka to również zarządzanie informacją, dlatego Big Data jako zbiór różnorodnych danych ogromnej objętości, stanowi ważny element gromadzenia i selekcjonowania określonych wartości. Należy podkreślić, że sektor rolno-spożywczy ze względu na różnorodność asortymentu generuje dużą ilość danych. Stanowią one ogromny potencjał do wykorzystania i poprawy efektywności. Ich przetwarzanie pozwala zoptymalizować wszystkie procesy w poszczególnych fazach łańcucha dostaw [Jagtap i in. 2021]. Ponadto dane są generowane systematycznie, wielokrotnie w ciągu dnia, a zatem stale aktualizowane. Kluczowe jest wykorzystanie tych danych zwłaszcza podczas optymalizacji tras przewozów, co jest istotne podczas dostaw towarów wrażliwych, o krótkim terminie przydatności. Bazy danych i analiza gromadzonych informacji zwiększa niezawodność planowania i harmonogramowania procesów, dzięki znajomości popytu a także dostępności zasobów w czasie rzeczywistym [Sun i in. 2022]. Obszerność danych ułatwia również prognozowanie, zarządzanie zapasami i transportem ale również może być pomocna przy opracowywaniu innowacyjnych rozwiązań. W aspekcie wyczerpywania się zasobów niezwykle cenna jest informacja pozwalająca na optymalną gospodarkę i ograniczenie marnotrawstwa. Analizy Big Data dają możliwość realizowania elastycznej produkcji, z oszczędnym gospodarowaniem zasobami ale również ograniczeniem strat [Kręt 2020]. Innowacyjne technologie ułatwiają optymalizację procesów produkcyjnych, sygnalizują pojawianie się punktów krytycznych, ułatwiają wskazanie nieefektywnych procesów. W organizacji procesu transportowego można wprowadzić rozwiązania przyjazne dla środowiska [Kręt 2020, Jagtap i in. 2021] wykorzystując dostępne w czasie rzeczywistym informacje, np. o zatorach na drogach czy łącząc przesyłki. Łańcuchy dostaw to ogromna ilość informacji, których wykorzystanie pozwala podejmować właściwe decyzje i generować precyzyjne działania [Marciniak i Szymczak 2015], a wydajność łańcucha dostaw zależy od gromadzenia danych oraz ich analizy.

Robotyka i automatyka

Robotyka to proces projektowania i wykorzystania robota do wykonywania określonych zadań. Natomiast automatyzacja to wykorzystanie technologii zmechanizowanej. Pozwala na obniżenie kosztów, zwiększenie skali produkcji oraz jej przyspieszenie, poprawę wydajności, w tym również środowiska pracy [Duong i in. 2020]. Zastosowanie robotyki w logistyce żywności może obejmować wszystkie obszary. Początkowo roboty wykorzystywano głównie do pakowania i paletyzacji, obecnie wykorzystywane są w transporcie, sortowaniu,

pakowaniu i dostarczaniu produktów. Połączenie z automatyzacją umożliwia identyfikowalność i śledzenie towarów w łańcuchu dostaw. W przypadku surowców i produktów o krótkim terminie przydatności do spożycia ale również wymagających specyficznych warunków transportu jest to szczególnie ważne [Lelęć i Wasiak 2017, Pal i Kant 2019, Gulowaty 2020]. Automatyzacja pozwala na ograniczenie ilości odpadów, co jest niezwykle istotne w produkcji żywności. Wpływa na sprawność łańcucha dostaw, co w konsekwencji znacząco obniża koszty transportu dóbr. Logistyka magazynowa wykorzystując automatyzację wspomaga proces przemieszczania produktów, skutecznie zwiększając wydajność oraz zmniejszając koszty.

Symulacja

To kluczowy element wykorzystywany do planowania i opracowywania modeli ułatwiających podejmowanie decyzji ale również na etapie projektowania systemów [Nowicka i Szymczak 2020]. W branży spożywczej, zwłaszcza w systemach produkcji i logistyce, modelowanie i symulacja jest ważnym elementem testowania produktów, procesów, projektowania, ułatwia podejmowanie decyzji a tym samym przyczynia się do obniżania kosztów. Podobnie jak w przypadku innych technologii Przemysłu 4.0, właściwe wykorzystanie symulacji może przyczynić się do lepszego zagospodarowania taboru samochodowego, w konsekwencji mniejszej liczby przewozów i mniejszej emisji dwutlenku węgla i zatorów na drogach [Hoffa-Dąbrowska i Grzybowska 2020]. Analizowane różne warianty symulacyjne wspierają proces planowania, organizowania, magazynowania, dystrybucji, optymalizowania czasu dostawy czy automatyzacji. Programowanie symulacyjne może być procesem bardzo złożonym, co wynika ze specyfiki branży spożywczej. Jednocześnie sama symulacja wymaga odpowiedniego oprogramowania. Wykorzystanie różnych technik symulacji i optymalizacji pozwala na budowanie łańcuchów dostaw o wysokim poziomie odporności podnosząc konkurencyjność przedsiębiorstw [Nowicka i Szymczak 2020].

IV. PODSUMOWANIE

Przemysł spożywczy jest jednym z najważniejszych sektorów w gospodarce pod względem obrotów, wartości dodanej oraz zatrudnienia a żywność jest produkowana coraz częściej w sposób wydajny bez obciążeń dla środowiska. Implementacja technologii Przemysłu 4.0 może pomóc w realizacji celów związanych z ochroną środowiska i zrównoważonym rozwojem, jednocześnie wzmacniając innowacyjność, efektywność i konkurencyjność przedsiębiorstw. W strategiach Europejskiego Zielonego Ładu, w tym w nowej strategii przemysłowej dla Europy oraz w strategii „Od pola do stołu” podkreślono, że budowa odpowiedzialnej klimatycznie i środowiskowo gospodarki wymaga szerszego wykorzystania innowacyjnych technologii. Zielona i zrównoważona logistyka powinna być podstawowym elementem gospodarki o obiegu zamkniętym a wykorzystanie technologii cyfrowych zapewni korzyści w postaci optymalizacji sieci logistycznych, zmniejszenia śladu węglowego, minimalizacji odpadów czy ograniczenia emisji.

BIBLIOGRAFIA

1. Antonowicz M., Jarzębowski S., Gonsior T. 2018. Internet rzeczy i jego wpływ na łańcuch dostaw. *Przedsiębiorczość i Zarządzanie*. 5. 295-310.
2. Bendkowski J. 2013. Logistyka jako strategia zarządzania produkcją. *Zesz. Nauk. Organizacja i Zarządzanie. Politechnika Śląska*. 63. 7-25.

3. Benotmane Z., Belalem G., Neki A. 2017. A cloud computing model for optimization of transport logistics process. *Transp Telecommun.* 18.194-206. doi:10.1515/tj-2017-0017.
4. Duong L.N.K., Al-Fadhli M., Jagtap S., Bader F., Martindale W., Swainson M., Paoli A. 2020. A review of robotics and autonomous systems in the food industry: From the supply chains perspective. *Trends. Food Sci. Technol.* 106. 355-364. doi:10.1016/j.tifs.2020.10.028.
5. Eurostat. 2021. How Digitalised Are EU's Enterprises? <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20211029-1>.
6. Fisher O., Watson N., Porcu L., Bacon D., Rigley M., Gomes R.L. 2018. Cloud manufacturing as a sustainable process manufacturing route. *J. Manuf. Syst.* 47. 53-68. doi:10.1016/j.jmsy.2018.03.005.
7. Gulowaty J. 2020. Logistyka produktów świeżych pod presją czasu. *Logistyka.* 3. 50-51.
8. Gružauskas V., Gimžauskienė E., Navickas V. 2019. Forecasting accuracy influence on logistics clusters activities: The case of the food industry. *J. Clean. Prod.* 240. 118225. doi:10.1016/j.jclepro.2019.118225.
9. Hoffa-Dąbrowska P., Grzybowska K. 2020. Simulation modeling of the sustainable supply chain. *Sustainability.* 12(15). 6007. doi:10.3390/su12156007.
10. Jagtap S., Bader F., Garcia-Garcia G., Trollman H., Fadji T., Salonitis K. 2021. Food logistics 4.0: Opportunities and challenges. *Logistics.* 5(1). 2. doi:10.3390/logistics5010002.
11. Kosior K. 2022. The Advancement of Digitalization Processes in Food Industry Enterprises in the European Union. *Problems of Agricultural Economics.* 371(2). 28-46. doi:10.30858/zer/146782.
12. Kręt P. 2020. Wykorzystanie Big Data w zielonym łańcuchu dostaw. *J. TransLogistics.* 6. 1. 49-56.
13. Lelęć P., Wasiak M. 2017. Współczynniki podatności transportowej ładunków szybko psujących się. *Zesz. Nauk. Politechniki Warszawskiej. Transport.* (117). 161-176.
14. Maksymiec M., Stasiak D.M., Libera J. 2015. Niedestrukcyjne techniki w kontroli jakości wyrobów mięsnych. *Bezpieczeństwo zdrowotne żywności. Aspekty mikrobiologiczne, chemiczne i ocena towaroznawcza.* 145.
15. Marciniak M., Szymczak M. 2015. Big data w narzędziu łańcuchem dostaw. *Gospodarka Materiałowa i Logistyka.* 7. 8-15.
16. Mroczko F. 2016. *Logistyka. Prace Naukowe Wyższej Szkoły Zarządzania i Przedsiębiorczości. Seria Zarządzanie. Wałbrzych.*
17. Nowicka K., Szymczak M. 2020. Logistyka i łańcuchy dostaw w obliczu czwartej rewolucji przemysłowej. *Studia BAS.* 3. 61-84.
18. Pal A., Kant K. 2019. Using blockchain for provenance and traceability in internet of things-integrated food logistics. *Computer.* 52(12). 94-98. doi:10.1109/MC.2019.2942111.
19. Różanowski K. 2007. Sztuczna inteligencja rozwój, szanse i zagrożenia. *Zesz. Nauk. Warszawskiej Wyższej Szkoły Informatyki.* 2(2). 109-135.
20. Smarzyńska N., Stanisławska K. 2019. Kierunek rozwoju branży transportowej–Internet Rzeczy. *J. TransLogistics.* 5(1). 265-274.
21. Stevenson A. 2010. *Oxford dictionary of English.* Oxford University Press. USA.
22. Sun X., Yu H., Solvang W. D., Wang Y., Wang K. 2022. The application of Industry 4.0 technologies in sustainable logistics: A systematic literature review (2012-2020) to explore future research opportunities. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 29. 9560-9591. doi:10.1007/s11356-021-17693-y.

23. Tang C.S. Veelenturf L.P. 2019. The strategic role of logistics in the industry 4.0 era. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 129. 1-11. doi:10.1016/j.tre.2019.06.004.
24. Trzop A. 2020. Przegląd rozwiązań z zakresu przemysłu 4.0 stosowanych w obszarze logistyki. *Zesz. Nauk. Politechniki Poznańskiej. Organizacja i Zarządzanie*. 81. 233-247.
25. Wodnicka M. 2019. Technologie blockchain przyszłością logistyki. *Zesz. Nauk. Małopolskiej Wyższej Szkoły Ekonomicznej w Tarnowie*. 41. 1. 43-54. doi:10.25944/znmwse.2019.01.4354.

SUSTAINABLE FOOD LOGISTICS AND INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES

Summary

Sustainable development of logistics in the food industry requires the implementation of Industry 4.0 technologies. These technologies will help improve efficiency with the maintenance of high quality and food safety. Optimizing logistics processes with cyber-physical systems also means reducing costs, especially transportation processes, reducing food waste, flexible production with resource efficiency, reducing carbon emissions. Green and sustainable logistics using innovative technologies should be a fundamental component of a closed-loop economy. This article presents examples of technologies to achieve sustainable and green logistics in the food industry.

Keywords: innovation technologies, digitization, food industry, logistics 4.0