

Katarzyna Nowicka*
Maciej Szymczak**

Logistyka i łańcuchy dostaw w obliczu czwartej rewolucji przemysłowej

Logistics and supply chains in the light of Industry 4.0

The fourth industrial revolution (4IR) introduces significant changes in various areas of economic and social life. Many of them are perceived as groundbreaking and game-changing, which is a feature of every revolution. 4IR exerts a direct impact on economic and social life through the incredible development of ICT. The paper aims to present the scope of impact of these changes on logistics and supply chain management – areas of business management that are currently of great importance for competitiveness. The role of ICT in modern logistics and supply chain management was also shown, and selected specific technologies that considerably contribute to the deepening of digital transformation in these areas of activity were discussed. Attention was drawn to the complementarity of ICT solutions at the enterprise and the economy levels. The authors came up with a concept of an intelligent (digital) supply chain as a solution that satisfies the need to strengthen supply chain's resilience and supports the implementation of environmental sustainability strategies in line with the development of the circular economy. The authors also discuss development directions of the so-called intelligent logistics and intelligent supply chains under the conditions of 4IR.

DOI	https://doi.org/10.31268/StudiaBAS.2020.22
Słowa kluczowe	technologie cyfrowe, cyfrowa transformacja łańcuchów dostaw, inteligentny łańcuch dostaw
Keywords	digital technologies, supply chain digital transformation, smart supply chain
O autorach	* doktor hab., profesor SGH, Katedra Logistyki, Szkoła Główna Handlowa w Warszawie • ✉ katarzyna.nowicka@sgh.waw.pl • ORCID 0000-0001-7830-7457 ** profesor dr hab., Katedra Logistyki, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu • ✉ maciej.szymczak@ue.poznan.pl • ORCID 0000-0002-1107-3390

Wstęp

Czwarta rewolucja przemysłowa wprowadza zmiany w wielu obszarach życia gospodarczego i społecznego. Wiele z nich ma charakter przełomowy, jak na rewolucję przystało. Bezpośredni wpływ na życie gospodarcze i społeczne czwarta rewolucja przemysłowa wywiera poprzez niebywały rozwój środków łączności i technologii komputerowych. Problemem badawczym jest oddziaływanie rozwijających się technologii cyfrowych na logistykę i zarządzanie łańcuchami dostaw. Celem artykułu jest przedstawienie zakresu tego oddziaływania i wskazanie zachodzących zmian w logistyce i zarządzaniu łańcuchami dostaw – obszarach działalności, które obecnie mają istotne znaczenie dla konkurencyjności przedsiębiorstw. W artykule pokazano rolę ICT we współczesnej logistyce i w zarządzaniu łańcuchem dostaw oraz omówiono wybrane technologie szczegółowe, które w sposób znaczący przyczyniają się do pogłębienia transformacji cyfrowej w tych obszarach działalności. Rozważania ukierunkowano na ukazanie znaczenia poszczególnych technologii w kontekście efektywności przepływu zasobów w łańcuchach dostaw oraz na uzasadnienie potrzeby ich wdrażania w obliczu procesów zachodzących w otoczeniu. Zwrócono

także uwagę na komplementarność rozwiązań na poziomie przedsiębiorstwa wobec rozwiązań na poziomie makro. Wynikiem rozważań jest koncepcja inteligentnego (cyfrowego) łańcucha dostaw. To rozwiązanie w holistyczny sposób wychodzi naprzeciw zaspokajaniu potrzeb wzmacniania odporności łańcuchów dostaw na różnego typu zaburzenia i warunki nieoczekiwanej zmienności otoczenia. Wspiera ono także realizację strategii proekologicznych. Autorzy określają kierunki rozwoju tzw. inteligentnej logistyki i inteligentnych łańcuchów dostaw w warunkach czwartej rewolucji przemysłowej.

Czwarta rewolucja przemysłowa, gospodarka cyfrowa i społeczeństwo cyfrowe jako nowe środowisko działania przedsiębiorstw i nowe uwarunkowania dla logistyki i łańcuchów dostaw

Obecnie weszliśmy w epokę czwartej rewolucji przemysłowej, której zasadniczą cechą jest bezpośrednie i natychmiastowe odwzorowanie procesów realnych w systemie informatycznym z jednoczesną ich daleko idącą automatyzacją. Prowadzi to do powstania tzw. systemów cyberfizycznych (*cyber-physical systems*), które powodują, że zaciera się granica pomiędzy sferą procesów realnych a sferą procesów informacyjnych. Wpływa to istotnie na sferę regulacji. W takich uwarunkowaniach zmienia się wiele aspektów życia i gospodarowania. Dlatego mówi się, że czwarta rewolucja przemysłowa będzie miała największy wpływ na funkcjonowanie społeczeństw spośród wszystkich dotychczasowych rewolucji. Zarówno życie codzienne, jak i gospodarka będą beneficjentami zmian wprowadzanych i inicjowanych rozwojem technologii teleinformatycznej (ICT). Z perspektywy gospodarki należy zwrócić uwagę zwłaszcza na nowe możliwości funkcjonowania jej poszczególnych sektorów. Z tej przyczyny niejako synonimem czwartej rewolucji przemysłowej stał się Przemysł 4.0¹. Skoro mówimy o rewolucyjnym wpływie na wszystkie sektory gospodarki, to wpływowi temu podlegają także poszczególne obszary działalności przedsiębiorstw w tych sektorach. Ulegają mu zatem również logistyka i zarządzanie łańcuchem dostaw².

Rozwój technologii internetowych zwłaszcza w ostatnich dwóch dziesięcioleciach sprawił, że urządzenia automatyki, w jakie wyposażone są współczesne przedsiębiorstwa (w efekcie poprzedniej jeszcze rewolucji przemysłowej), można integrować i tworzyć konglomeraty urządzeń wsparte odpowiednim oprogramowaniem, które dzięki tej integracji pozwalają uzyskać nową wartość w postaci nowych możliwości i usług dla kadry zarządzającej. Pierwszymi załączkami – opartymi na sieciach lokalnych i intranetach – były rozwiązania typu CAM (*Computer*

1 R.E. Crandall, *Industry 1.0 to 4.0: The Evolution of Smart Factories*, „SCM Now”, September/October 2017.

2 W niniejszej publikacji przyjęto, że „logistyka” to „proces planowania, realizowania i kontrolowania sprawnego i efektywnego ekonomicznie przepływu surowców, materiałów, wyrobów gotowych oraz odpowiedniej informacji z punktu pochodzenia do punktu konsumpcji w celu zaspokojenia wymagań klienta” – Council of Logistics Management, *What's It All About?*, Oak Brook, IL 1986, natomiast „zarządzanie łańcuchem dostaw” to „zarządzanie przepływami między ogniwami w łańcuchu dostaw w celu maksymalizacji globalnej rentowności łańcucha dostaw” – S. Chopra, P. Meindl, *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*, wyd. 2, Person and Prentice Hall, New Jersey 2004. Ponadto przyjmuje się podejście federalistyczne traktujące logistykę jako część składową zarządzania łańcuchem dostaw.

Aided Manufacturing) oraz CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) wdrażane w przemyśle w latach 80. XX w. łączyły one różne obszary działalności produkcyjnej – od przygotowania produkcji, poprzez sterowanie jej przebiegiem, na kontroli jakości kończąc. Integrowały wiele urządzeń sterowanych mikroprocesorowo, w jakie już wówczas były wyposażone fabryki: obrabiarki sterowane komputerowo CNC, urządzenia kontrolno-pomiarowe, manipulatory, a także urządzenia transportu wewnętrznego, takie jak różnego typu przenośniki czy wózki samojezdne (AGV). Sterowane komputerowo poszczególne podsystemy wykonawcze łączono za pomocą sieci w coraz większe kompleksy maszyn i urządzeń technologicznych sterowanych w sposób scentralizowany i rozproszony. Dało to początek daleko idącej automatyzacji obróbki, montażu oraz składowania i transportu wewnętrznego, z czasem możliwej w odniesieniu do coraz bardziej skomplikowanych czynności. Zdecydowanie podniosło to efektywność procesu produkcyjnego, a w połączeniu z rosnącą mocą komputerów i coraz szybszym przetwarzaniem danych pozwoliło na dokonywanie znaczących optymalizacji – także w czasie rzeczywistym. Dzięki temu wprowadzenie zupełnie nowych metod zarządzania produkcją stało się możliwe.

Obecnie automatyzacja, optymalizacja oraz zarządzanie w czasie rzeczywistym dotyczą niemal wszystkich operacji i procesów produkcyjnych. Wszystkie są na bieżąco odwzorowywane w systemie komputerowym. Rejestrowanych jest na bieżąco wiele parametrów tych procesów łącznie z parametrami środowiska, w którym są wykonywane. To w sposób natychmiastowy pozwala decydować o poprawności ich przebiegu lub o konieczności wprowadzenia zmian, które – jeśli tylko wymagają zmodyfikowania parametrów pracy urządzeń – także są natychmiastowe i mogą być przeprowadzone zdalnie. Możliwe jest – w tzw. elastycznych systemach produkcyjnych (*FMS – Flexible Manufacturing Systems*) – szybkie przestawienie produkcji, przebrojenie maszyn oraz wytwarzanie produktów w krótkich seriach przy zachowaniu opłacalności. To wszystko powoduje, że coraz bardziej zasadne jest mówienie o nowej generacji systemów, w których wzajemnie łączą się i przenikają procesy fizyczne i procesy informacyjne, dzięki czemu powstają zupełnie nowe możliwości dla zarządzających – czyli o systemach cyberfizycznych³. Ich upowszechnienie się przesądziło o czwartej rewolucji przemysłowej oraz o spopularyzowaniu określenia „Przemysł 4.0”, które pierwotnie zostało zaproponowane w 2011 r. podczas targów w Hanowerze⁴.

Zmiany w obszarze produkcji skutkują zmianami w pozostałych obszarach funkcjonowania przedsiębiorstw. Można by nawet zaryzykować twierdzenie, że produkcja w tym zakresie stanowi jądro rozprzestrzeniania się czwartej rewolucji przemysłowej, a co za tym idzie – systemów cyberfizycznych, podobnie jak ogniwo produkcyjne wyznacza miejsce koordynacji przepływów zasobów w łańcuchu dostaw. Nie byłoby to jednak twierdzenie do końca prawdziwe, gdyż podobna rewolucja w tym samym czasie zaczęła zachodzić w społeczeństwie. Upowszechnienie się nowych technologii, zwłaszcza mobilnych i coraz szybszego przesyłania danych w sieciach komórkowych – najpierw 2G (GPRS, EDGE), a następnie 3G i 4G (LTE) – w których równolegle świadczone są usługi transmisji dźwięku, obrazu i pakietowej transmisji danych, wykreowało

3 R. Baheti, H. Gill, *Cyber-physical Systems [w:] The Impact of Control Technology. Overview, Success Stories, and Research Challenges*, red. T. Samad, A. Annaswamy, IEEE Control Systems Society 2011, s. 161–166.

4 H. Kagermann, W.D. Lukas, W. Wahlster, *Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution*, „VDI Nachrichten” 2011, nr 13, s. 2.

podstawy społeczeństwa cyfrowego. Czerpie ono z nieustannego dostępu do internetu, a więc do rozległych zasobów informacyjnych oraz do nieograniczonej rzeszy innych ludzi (*connectivity*), co spowodowało u ludzi istotne zmiany zachowań, także zakupowych, oraz wygenerowało pakiet nowych potrzeb konsumpcyjnych. Naprzeciw im wyszedł handel, za którym musiała podążać dystrybucja. Zespół działań w tym zakresie, jakie zaczęły się upowszechniać, określa się pojęciem *smart convenience*, które oznacza zbiór oferowanych przez handel udogodnień, w tym dodatkowych usług, zorientowanych na wygodę nabywania dóbr i rozwój pozytywnych doświadczeń zakupowych⁵. Lista tych udogodnień będzie się w najbliższym czasie wydłużać, gdyż prognozy dla światowego rynku handlu elektronicznego są nader obiecujące⁶, a do tego bardzo mocno w ten sektor wkracza robotyzacja – zarówno w zakresie prac wykonywanych w centach handlowych, jak i w zakresie dostaw (drony) oraz asysty przy dokonywaniu zakupów (boty internetowe). Upowszechniają się prezentacje produktów realizowane w streamingu. Dynamicznie rozwijają się także nowe metody dokonywania płatności za zakupy⁷. Łańcuchy dostaw w obszarze dystrybucji stały się proaktywne, a dystrybucja dóbr stała się coraz ściślej skorelowana z transmisją danych. Te dwa kierunki nowatorskich zmian sprzyjały więc sobie nawzajem, co doprowadziło do najściślejszego w historii połączenia klienta końcowego z produkcją, a następnie z jej zaopatrzeniem. Można powiedzieć, że to połączenie stanowi rdzeń systemów cyberfizycznych we współczesnej gospodarce i jest podstawą rozwoju gospodarki cyfrowej. Zmiany będące treścią czwartej rewolucji przemysłowej mają charakter wywrotowy (*disruptive*)⁸, co oznacza, że wykazują potencjał w zakresie wprowadzania istotnych przekształceń na obecnie funkcjonujących rynkach, rekonstrukcji dotychczasowych procesów, przebudowy utrwalonych sieci wartości, a to z kolei może przełożyć się na znaczącą zmianę układu sił na rynku oraz na powstawanie nowych rynków, produktów i podmiotów gospodarczych⁹.

Systemy cyberfizyczne tworzą nowe środowisko działania przedsiębiorstw, nowe uwarunkowania dla funkcjonowania łańcuchów dostaw i nowe sposoby realizacji procesów logistycznych. Zwłaszcza ta ostatnia kwestia bardzo szybko się rozwija. Logistyka jako proces w łańcuchu dostaw jest niezwykle podatna na cyfryzację. Wynika to ze specyfiki tego procesu, który wy-

5 M. Szymczak, *Idea smart convenience w łańcuchach dostaw produktów żywnościowych*, „Logistyka” 2015, nr 3, s. 13–16.

6 Rozwinięciu się e-handlu może pomóc także pandemia koronawirusa SARS-CoV-2, która wyraźnie przyczyniła się do rozwoju elektronicznych zakupów, zwłaszcza w zakresie produktów spożywczych. Wydaje się, że nabyte w tych okolicznościach zwyczaje i doświadczenia zakupowe będą utrwalane, o ile nie nastąpi wyraźny wzrost cen produktów w kanałach elektronicznych, co już zaobserwowano. M. Zatoński, *Sklepy e-spożywcze podniosły ceny*, „Puls Biznesu”, 19 maja 2020 r., s. 10.

7 P. Mazurkiewicz, *Chiński handel: roboty, streaming, płatności mobilne na straganie*, „Rzeczpospolita”, Raport ekonomiczny nr 12 – E-handel, 4 grudnia 2019 r., s. 8–9.

8 Krótkiego przeglądu technologii, które obecnie można uznać za wywrotowe, dokonali: A.A. Rahman, U.Z.A. Hamid, Th.A. Chin, *Emerging Technologies with Disruptive Effects: A Review*, „PERINTIS eJournal” 2017, t. 7, nr 2, s. 111–128. Znamienne, że większość z nich stanowi nierozzerwalny element czwartej rewolucji przemysłowej.

9 C.M. Christensen, *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*, Harvard Business School Press, Boston 1997.

maga pozyskiwania i przetwarzania wielu różnych danych. Ze względu na upowszechnienie się standardów kodowania danych dotyczących zasobów, np. jednostek handlowych i jednostek logistycznych (GTIN i SSCC), przesyłek (GINC), opakowań zwrotnych (GRAI), środków trwałych (GIAI), dokumentów (GDTI) czy lokalizacji (GLN), a także coraz bardziej powszechne stosowanie różnego rodzaju czujników informujących o parametrach środowiska oraz systemów zliczania, sortowania i kontroli cech fizycznych zasobów, pojawiły się duże oczekiwania odnośnie do przetwarzania tych danych oraz szybkiego ich przesyłania w celu zwiększenia efektywności procesu przepływu zasobów w jak najszerszym zakresie.

Skala i doniosłość zmian, jakich doświadczamy w związku z czwartą rewolucją przemysłową, wpływają na zmianę sposobów konkurowania przedsiębiorstw, na powstawanie nowych modeli biznesowych, na budowanie nowych relacji, aliansów i sieci współpracy. Dlatego z punktu widzenia praktyki zarządczej zmiany te przekonują do rozumowania w kategoriach tzw. strategicznego punktu przegięcia, w którym mogą znaleźć się przedsiębiorstwa na ścieżce swojego rozwoju¹⁰. A to oznacza konieczność podjęcia kluczowych decyzji w odniesieniu do przyszłości tak w zakresie modelu prowadzenia biznesu, sposobu działania przedsiębiorstwa, jak i poszczególnych obszarów jego funkcjonowania. Jest to jednocześnie dobry moment na opracowanie innowacyjnych strategii, które pozwolą zdobyć i utrzymać przewagę konkurencyjną nad innymi. Żeby tak się stało, trzeba mieć świadomość możliwości, jakie stwarza czwarta rewolucja przemysłowa, rozumieć ją, śledzić trendy i umieć przewidzieć najbardziej prawdopodobne kierunki rozwoju technologicznego. W realizacji koncepcji czwartej rewolucji przemysłowej przedsiębiorstwom pomógł koronawirus. Z powodu zachowania konieczności dystansu społecznego spółki chętniej zwróciły się ku automatyzacji, robotyzacji i digitalizacji. Jak wynika z badania EY, co trzecia spółka chce teraz zdynamizować cyfrową transformację¹¹.

Cyfrowe ekosystemy na poziomie gospodarki i na poziomie przedsiębiorstwa a potencjał konkurencyjny logistyki i łańcuchów dostaw

Czwarta rewolucja przemysłowa i koncepcja Przemysłu 4.0 opierają się na kompleksowym i spójnym cyfrowym ekosystemie, który nie może ograniczać się wyłącznie do skali przedsiębiorstwa, ale musi dotyczyć skali makroekonomicznej. Realizacja postulatów czwartej rewolucji przemysłowej oraz wdrażanie idei Przemysłu 4.0 wymagają wsparcia na poziomie gospodarki. Dotyczy to przede wszystkim infrastruktury sieci rozległych WAN (*Wide Area Network*). Największą z nich jest oczywiście dzisiaj internet, ale infrastruktura WAN oznacza sposób, w jaki odbywa się łączność pomiędzy urządzeniami rozmieszczonymi w dużej odległości od siebie, jak również sposób zestawiania połączenia oferowanego przez dostawców usług telekomunikacyjnych. Infrastruktura WAN przesądza o jakości sieci szkieletowej (*backbone network*), do której przyłącza się struktury mniejszych sieci, a tym samym o jakości komunikacji na danym obszarze. Sieci szkieletowe

10 S.M. Puffer, *Global executive: Intel's Andrew Grove on competitiveness*, „Academy of Management Perspectives” 1999, t. 13, nr 1, s. 15–24, <https://doi.org/10.5465/ame.1999.1567273>.

11 M. Konkel, *Koronawirus nie lubi robotów*, „Puls Biznesu”, 18 maja 2020 r., s. 11.

są budowane i rozwijane przez organizacje rządowe, a także ośrodki naukowe i akademickie. Zdarza się, że inwestuje w nie również biznes. Dobrym przykładem są tu miejskie sieci komputerowe MAN (*Metropolitan Area Network*) obejmujące swoim zasięgiem aglomeracje miejskie, które były i są podstawą rozwoju wielu dużych sieci rozległych. Do budowy sieci szkieletowych oprócz bardzo szybkich połączeń światłowodowych stosuje się też połączenia radiowe, które charakteryzują się znaczną elastycznością i ekonomią w zakresie rozbudowy i podłączania kolejnych użytkowników. W tym zakresie z naziemnych sieci bezprzewodowych należy wymienić zwłaszcza komórkowe sieci telekomunikacyjne. Największe możliwości w kontekście realizacji postulatów czwartej rewolucji przemysłowej – z naciskiem na szerokie podłączenie do internetu wielu dodatkowych urządzeń i rozwój unilateralnej komunikacji pomiędzy nimi (*Machine-to-Machine, M2M*) – oferuje najnowsza, piąta generacja tych sieci – 5G. Oferuje ona niespotykane dotąd, bardzo wysokie parametry w zakresie przepływności danych (20 Gb/s / 10 Gb/s), opóźnień sieciowych (4 ms) czy poziomu błędów (10^{-5}). Oznacza to, że łączność komórkowa będzie mogła być zastosowana w zupełnie nowych obszarach, także tych wymagających niezwykle wysokiej szybkości, niezawodności czy przyłączenia bardzo wielu urządzeń jednocześnie. Technologia sieci 5G zawiera kilka istotnych kierunków innowacji w zakresie rozwiązań, które na trwale zmieniają oblicze komunikacji radiowej i które w związku z tym można nazwać wywrotowymi¹². Takie możliwości dają ogromny impuls w kierunku transformacji cyfrowej i urzeczywistnienia koncepcji Przemysłu 4.0 we wszystkich jego sektorach. Rozwój sieci 5G postępuje pomału, a do tego proces wprowadzania nowej technologii na świecie spowolniła pandemia koronawirusa SARS-CoV-2. W wielu państwach, w tym w Polsce, budowa sieci 5G spotyka się z wieloma niewiadomymi natury formalnej. Według raportu GSA (Global mobile Suppliers Association) z lutego 2020 r. 356 operatorów w 121 państwach inwestuje w rozwój sieci 5G, 78 operatorów w 43 państwach ogłosiło uruchomienie sieci 5G na bazie architektury sieci dotychczasowych (*non-standalone*), a 62 operatorów w 34 państwach uruchomiło usługi sieci 5G¹³. W Polsce aktualnie jeden operator uruchomił łączność 5G w wybranych dużych miastach, bazował przy tym na architekturze sieci 4G. Ta niewielka na razie skala inwestycji wynika po części z faktu unieważnienia rozpisanego przetargu na częstotliwości, czego przyczyną była pandemia koronawirusa. Rozwój sieci 5G wiąże się z wieloma wyzwaniami, które są artykułowane od dłuższego już czasu i są wspierane szerokimi badaniami¹⁴. W szczególności dotyczą one kwestii standaryzacji komunikacji między urządzeniami D2D (*Device to Device*) realizowanej za pomocą różnych technologii¹⁵

12 F. Boccardi *et al.*, *Five disruptive technology directions for 5G*, „IEEE Communications Magazine” 2014, t. 52, nr 2, s. 74–80, <https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6736746>.

13 *Evolution from LTE to 5G – Market Status – Feb 2020*, <https://gsacom.com/paper/lte-to-5g-market-status-feb-2020/> [dostęp: 28 września 2020 r.]. Dla porównania – według tego samego raportu – obecnie usługi w ramach sieci 4G (LTE) oferuje 791 operatorów w 229 państwach na świecie.

14 S. Chen, J. Zhao, *The requirements, challenges, and technologies for 5G of terrestrial mobile telecommunication*, „IEEE Communications Magazine” 2014, t. 52, nr 5, s. 36–43, <https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6815891>; A. Gupta, R.K. Jha, *A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies*, „IEEE Access” 2015, t. 3, s. 1206–1232, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2461602>.

15 L. Militano *et al.*, *Device-to-Device Communications for 5G Internet of Things*, „EAI Endorsed Transactions on Internet of Things” 2015, t. 1, nr 1, s. 1–15, <http://dx.doi.org/10.4108/eai.26-10-2015.150598>.

czy integracji tych technologii w drodze ich komplementarnego rozwoju wraz z udostępnianiem nowych pasm łączności i ich współdzieleniem, których rozwiązanie będzie znaczącą odpowiedzią na problem wzrostu ilości danych przesyłanych pomiędzy urządzeniami mobilnymi¹⁶. To wszystko jest niezbędne do rozwinięcia internetu rzeczy, czy choćby idei dostarczania różnych zasobów na zasadzie dostępu do usług świadczonych zdalnie (*XaaS – Anything-as-a-Service*).

Za rozwojem systemów teleinformatycznych na poziomie makro podąża rozwój systemów teleinformatycznych na poziomie przedsiębiorstwa. Podąża w tym sensie, że wdrażane w przedsiębiorstwach rozwiązania nie stanowią odseparowanych instalacji o ograniczonej funkcjonalności, ale stają się częścią rozbudowanych platform służących biznesowi – ekosystemów cyfrowych w mniejszej skali. Mając na względzie rozproszoną strukturę przedsiębiorstw, a tym bardziej ich dostawców i odbiorców, daje to możliwość integracji na poziomie sieciowych struktur kooperacyjnych czy łańcuchów dostaw. Dzięki możliwości połączenia systemów informatycznych przedsiębiorstw i poszczególnych ich jednostek biznesowych ujawniają się dodatkowe możliwości wynikające z informatyzacji. Można więc powiedzieć, że rozwój infrastruktury rozległych sieci szkieletowych i rozwój systemów informatycznych przedsiębiorstw są wobec siebie w pewnym zakresie komplementarne.

Z czwartą rewolucją przemysłową wiąże się wiele różnych technologii i koncepcji opartych na technologii, które nieodłącznie kojarzą się z Przemysłem 4.0 czy będącymi jego symbolem inteligentnymi fabrykami. Trzeba do nich zaliczyć np.: internet rzeczy (*Internet of Things*), technologie mobilne, w tym ubieralne (*wearables*), chmurę obliczeniową (*cloud computing*), mgłę obliczeniową (*fog computing*), *big data*, łańcuch bloków (*blockchain*), agenty programowe (*software agents*), boty, technologie przyrostowe (*additive manufacturing*), a więc druk 3D oraz druk 4D, wirtualną rzeczywistość (*virtual reality*), wzbogaconą rzeczywistość (*augmented reality*), cyfrowe bliźnięta (*digital twins*), roboty współpracujące (*cobots*), pojazdy autonomiczne – w tym AGV (*Automated Guided Vehicles*) oraz UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*), która to kategoria obejmuje także drony. Czwarta rewolucja przemysłowa dała impuls do opracowywania wielu innowacji, nowych rozwiązań i wynalazków. Można to zaobserwować w postaci wyraźnie rosnącej liczby zgłoszeń patentowych w ostatnich latach. Według Europejskiego Urzędu Patentowego (European Patent Office) ponad połowa tych zgłoszeń w latach 2011–2016 pochodziła z 25 przedsiębiorstw w większości zlokalizowanych w Azji¹⁷. Ze względu na bardzo ograniczone rozmiary tego opracowania poniżej zostaną krótko omówione te rozwiązania, których możliwości stanowią o ich istotnym miejscu w cyfrowych ekosystemach zarządzania zarówno logistyką, jak i łańcuchami dostaw. Zaakcentowane będą możliwości wykorzystania tych technologii w przedsiębiorstwach i łańcuchach dostaw dla poprawy parametrów ich funkcjonowania i podniesienia potencjału konkurencyjnego. Szczególna uwaga zostanie zwrócona na nowe i przełomowe możliwości, które są znamienne dla czwartej rewolucji przemysłowej.

Internet rzeczy, dobitniej zwany też internetem wszechrzeczy (co pokazuje tendencję), oznacza włączenie do sieci przedmiotów, które mają zdolność pozyskiwania, gromadzenia,

16 F.K. Banaseka, S. Dotse, *New Developments and Research Challenges for 5G Wireless Systems and Networks*, „International Journal of Current Research” 2017, t. 9, nr 2, s. 46626–46631.

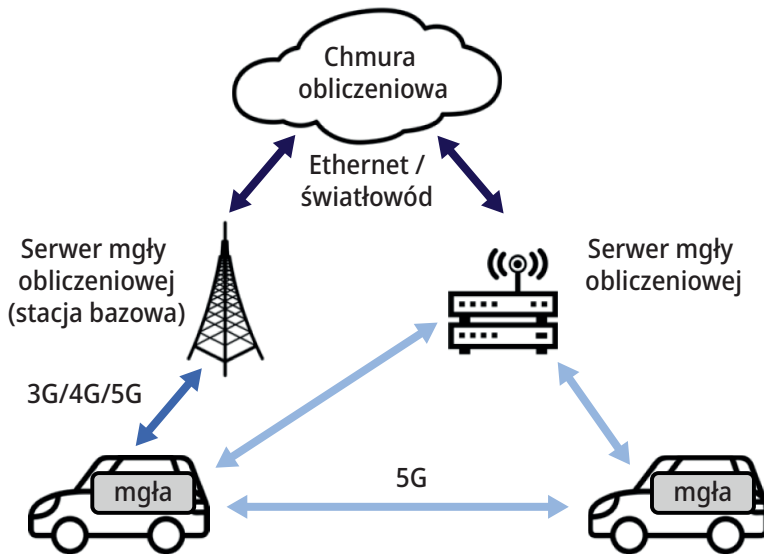
17 European Patent Office, *Patents and the Fourth Industrial Revolution. Summary of Key Findings*, Munich 2017.

a także przetwarzania danych. Właśnie w obszarze logistyki takich przedmiotów – różnego typu urządzeń, sterowników, nadajników, odbiorników, czujników, mierników – funkcjonuje bardzo wiele we współczesnych kanałach przepływu zasobów na każdym szczeblu produkcji i obrotu. Wzajemne połączenie tych urządzeń i zagwarantowanie wymiany danych między nimi prowadzi do powstania wyspecjalizowanych platform wspomagających realizację poszczególnych operacji i procesów na drodze tego przepływu, np. w transporcie czy składowaniu. Jeżeli zapewni się odpowiednie pasmo gwarantujące wysokie parametry w zakresie przepływności danych w takiej sieci urządzeń – o co przy obecnej technologii sieci LAN (także bezprzewodowych wykorzystujących standardy Wi-Fi i WiMAX) nietrudno – kontrola parametrów wykonywania tych operacji i procesów, ocena ich wykonania, jak również monitoring warunków, w jakich są wykonywane, odbywają się w czasie rzeczywistym. Umożliwia to wprowadzenie bieżącej optymalizacji operacji i procesów, natychmiastową reakcję na zakłócenia i nieprawidłowości oraz przewidywanie zdarzeń (takich jak konieczność kalibracji bądź serwisowania czy wystąpienie awarii). Większość urządzeń włączonych do internetu rzeczy nie ma dużych możliwości w zakresie gromadzenia i przetwarzania danych, dlatego towarzyszącym rozwiązaniem jest stosowanie chmury obliczeniowej, do której jednocześnie mają dostęp osobiste (w tym także mobilne) urządzenia kadry zarządzającej o znacznej mocy przetwarzania (komputery, tablety, smartfony) i wyposażone w specjalistyczne aplikacje. Z wykorzystaniem internetu rzeczy można zbudować np. kompleksowy system zarządzania magazynem integrujący w sobie funkcjonalność systemu zarządzania zapasami i systemu gospodarki magazynowej. Będzie w nim można nie tylko zarządzać w czasie rzeczywistym zgromadzonymi zasobami, jednocześnie mając szczegółowe informacje o ich ilości, rodzaju, dacie produkcji czy terminie przydatności do użycia, lecz także kontrolować warunki przechowywania zasobów i analizować efektywność procesów magazynowych, takich jak przyjęcie, składowanie, konfekcjonowanie czy wydanie – realizowanych w dużej części z użyciem automatycznych urządzeń transportu wewnętrznego, urządzeń manipulacyjnych, układnic, robotów. Będzie można również na bieżąco dokonywać ich optymalizacji przez zwiększenie stopnia wykorzystania przestrzeni magazynowej, rotację zasobów, redukcję czasu operacji, skali uszkodzeń i błędów. To wszystko razem ma też istotny wymiar po stronie kosztów funkcjonowania magazynu. Możliwość takiego kompleksowego rozwiązania opisał Wen Ding¹⁸.

Niezwykle popularne dziś rozwiązanie (nie tylko w sferze działalności profesjonalnej), jakim jest chmura obliczeniowa, zyskało rozszerzenie w postaci mgły obliczeniowej. Jej wykorzystanie wiąże się z opisywanymi wyżej aplikacjami internetu rzeczy. Można powiedzieć, że mgła obliczeniowa wypełnia lukę pomiędzy zdalnymi zasobami danych dostępnymi przez chmurę a urządzeniami internetu rzeczy, które w środowisku przemysłowym generują duże ilości różnorodnych danych, które następnie muszą zostać szybko przetworzone (aplikacje czasu rzeczywistego). Nie ma wtedy czasu na nawiązywanie połączenia z chmurą i na transmisję danych do chmury oraz z powrotem – po ich przetworzeniu. Mgła obliczeniowa zapewnia zatem pewien poziom autonomii rzeczy (urządzeń) podłączonych do internetu oraz bezpieczeństwo realizowanych

18 W. Ding, *Study of Smart Warehouse Management System Based on the IOT* [w:] *Intelligence Computation and Evolutionary Computation*, red. Z. Du, AISC, t. 180, Springer, Berlin–Heidelberg 2013.

Rysunek 1. Architektura mgły obliczeniowej dla pojazdów autonomicznych



Źródło: S. Liu et al., *Edge Computing for Autonomous Driving: Opportunities and Challenges*, „Proceedings of the IEEE” 2019, t. 107, nr 8, <https://doi.org/10.1109/JPROC.2019.2915983>.

przez nie procesów oraz eliminuje potencjalne opóźnienia w dostępie do danych (*lags*). Mgła obliczeniowa wykazuje ogromną przydatność w środowisku, w którym funkcjonuje duża liczba rozproszonych obiektów podłączonych do sieci, z których wiele szybko się porusza. W ostatnim czasie ukazały się liczne prace, w których autorzy przekonują o zaletach wykorzystania mgły obliczeniowej w kompleksowych rozwiązaniach wspierających transport autonomiczny (rys. 1). W systemie transportu autonomicznego mamy do czynienia z nieruchomymi elementami infrastruktury podłączonymi do sieci oraz z ruchomymi pojazdami, które komunikują się zarówno z infrastrukturą (*V2I communication*), jak i między sobą (*V2V communication*). Potencjał mgły obliczeniowej ujawnia się jeszcze bardziej, kiedy pojazdami są nie samochody czy mobilne maszyny, które można wyposażyć w znaczną moc obliczeniową i pamięć, ale niewielkie wózki samojezdne czy drony, które takich możliwości nie stwarzają. Ponieważ pojazdy w krótkim czasie potrafią zmienić położenie, ze względów bezpieczeństwa (kluczowego dla rozwoju pojazdów autonomicznych) oczekiwanie na dane dotyczące otoczenia i panujących w nim warunków ruchu jest niedopuszczalne. Nawet stabilne łącze w technologii sieci 4G LTE może być niewystarczające w tym przypadku, a do tego dochodzi jeszcze czas zdalnego przetwarzania danych w chmurze. W jednym z proponowanych rozwiązań na podstawie danych pochodzących z kamer i czujników zamontowanych w pojazdach tworzy się rozproszone dynamiczne kopie rzeczywistych obiektów w węzłach mgły obliczeniowej. Kopie te podlegają nieustannej aktualizacji i są zaopatrzone w uczące się moduły prognozujące, które przewidują ruch pojazdów, co następnie

jest wykorzystywane do stworzenia mapy potencjalnych zagrożeń, którą posługują się pojazdy w planowaniu swoich manewrów¹⁹. Autorzy zwracają też uwagę na wiele wyzwań i badań, które należy koniecznie wykonać w tym zakresie. Proponowane rozwiązania mają kluczowe znaczenie dla usprawnienia transportu bliskiego i dalekiego zasięgu, a także transportu wewnętrznego i technologicznego, zwłaszcza zautomatyzowania operacji przemieszczania z zapewnieniem wysokiego bezpieczeństwa.

Wspomniane wyżej przy okazji przykładu wykorzystania mgły obliczeniowej dynamiczne kopie rzeczywistych obiektów to tzw. cyfrowe bliźnięta. Pozwalają one stworzyć cyfrowy ekosystem dla procesów biznesowych, będący odpowiednikiem realnego świata – równie dynamicznego i zmiennego w czasie. Cyfrowe bliźnięta umożliwiają dokonywanie korekt w funkcjonowaniu maszyn i urzędzeń, mających dostęp do sieci, a przez nią do cyfrowego ekosystemu cyfrowych bliźnięt, który stanowi pomost pomiędzy internetem rzeczy a modelowaniem cyfrowym. Technologia cyfrowych bliźnięt będzie miała ogromny wpływ na transformację cyfrową jako jedna z tych, które zacierają granicę między światem rzeczywistym a światem cyfrowym. W powyższym przykładzie, do którego już się odwoływaliśmy, cyfrowe bliźnięta wspomagają transport, ale to nie jedyne ich zastosowanie w zakresie logistyki i łańcuchów dostaw. Generalnie koncepcja cyfrowych bliźnięt pozwala na bezpośrednie, znacznie tańsze od tradycyjnego planowanie, szeregowanie, kolejkovanie i priorytetyzowanie zadań w sieci zależności procesowych i gospodarczych – coraz bardziej skomplikowanych we współczesnych łańcuchach dostaw. Takie planowanie – wsparte analizą potencjalnych efektów, jakie mogą mieć miejsce w konsekwencji wystąpienia konkretnych scenariuszy działań i zdarzeń – pozwala na odpowiednio wczesne przygotowanie działań (*contingency plans*) eliminujących zagrożenia przestoju czy pojawienia się wąskich gardeł. Można więc powiedzieć, że wykorzystanie cyfrowych bliźnięt wzmacnia atuty łańcucha dostaw w obszarze jego odporności na różnego typu zdarzenia, na które żaden z podmiotów łańcucha nie ma bezpośredniego wpływu.

Budowaniem odporności jest obecnie zainteresowanych coraz więcej łańcuchów dostaw. Z pewnością wpływ na to ma trwająca pandemia koronawirusa SARS-CoV-2. Właśnie dlatego można zaobserwować podejście, w którym tworzy się cyfrowe bliźnięta całych łańcuchów dostaw, które to bliźnięta pozwalają dokonać analizy stanu łańcucha na dowolnym jego odcinku, w dowolnej chwili. Studium takiego podejścia przedstawili Dmitry Ivanov i Alexandre Dolgui. Zaproponowany przez nich system wspomaganie decyzji wykorzystuje cyfrową reprezentację łańcucha dostaw do celów reaktywnego zarządzania kryzysowego w czasie rzeczywistym oraz do celów proaktywnego wprowadzania zmian w tym łańcuchu, które zwiększają jego odporność²⁰. Dziś możemy oczekiwać zupełnie innej jakości komputerowego wspomaganie decyzji niż dekadę czy dwie temu. Mamy dostęp do wielu dodatkowych danych, co jest pokłosiem wykorzystania technologii cyfrowej na szeroką skalę, inny poziom reprezentuje analityka biznesowa, dostępne są nowe technologie, takie jak choćby łańcuch bloków. To wszystko

19 M. Maheswaran, T. Yang, S. Memon, *A Fog Computing Framework for Autonomous Driving Assist: Architecture, Experiments, and Challenges*, <https://arxiv.org/pdf/1907.09454.pdf> [dostęp: 30 maja 2020 r.].

20 D. Ivanov, A. Dolgui, *A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0*, „Production Planning & Control” 2020, <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1768450>.

pozwała podejmować lepsze decyzje w obliczu różnego typu zakłóceń. Wykorzystanie tych współczesnych rozwiązań w postaci kombinacji technik symulacji, optymalizacji oraz analityki biznesowej przesądza o możliwości budowy cyfrowych bliźniąt łańcuchów dostaw, a ponadto stanowi istotny krok w kierunku budowy cyberfizycznych łańcuchów dostaw o istotnie wyższym poziomie odporności. Dzięki tym łańcuchom dostaw przedsiębiorstwa będą mogły – zwłaszcza w trudnych czasach – konkurować z innymi²¹.

Cyfrowe bliźnięta wykazują również niezwykłą przydatność w zakresie logistyki dystrybucji, zwłaszcza kiedy są wsparte technologią łańcucha bloków. Takie połączenie daje możliwość śledzenia przepływu wyrobów gotowych w systemie dystrybucji i takiego projektowania drogi ich przepływu, aby unikać narażania ich na niekorzystne warunki transportu i składowania, a także aby zabezpieczyć je przed kradzieżą i dostępem osób niepożądanych. Współczesne sieci dystrybucji wykazują znaczny poziom skomplikowania. Wielość, intensywność i różnorodność realizowanych w nich przepływów pozwalają zorientować się co do trudności w ich bieżącej analizie. Dodatkowo tę trudność potęgują niezwykle liczne, ale drobne przesyłki, będące efektem zakupów realizowanych w handlu elektronicznym. Modelowanie cyfrowe takiego systemu dystrybucji, które pozwoli na bieżącą analizę przepływów towarów w tym systemie (*visibility*) wraz z możliwością ich marszrutyzacji czy prognozowania zapotrzebowania i odpowiedniego doń planowania przepływów, oznacza przetwarzanie ogromnej ilości danych. Pomóc w tym mogą właśnie technologia cyfrowych bliźniąt wraz z technologią łańcucha bloków²², dzięki którym można dostarczyć informacje, które pozwolą zoptymalizować cały system dystrybucji, a przynajmniej zlikwidować wąskie gardła (w ujęciu reaktywnym) czy zapobiec ich powstawaniu (w ujęciu proaktywnym), tym samym zaś zapewnić dostępność produktów w końcowych ogniwach systemu dystrybucji i w tym sensie podnieść poziom obsługi klientów.

Jeszcze innym, już obecnie sprawdzonym i mającym duży potencjał w zakresie konkurencyjności przedsiębiorstw, zastosowaniem cyfrowych bliźniąt jest ich zastosowanie przy projektowaniu nowych wyrobów. Na przykład w bardzo kapitałochłonnej branży motoryzacyjnej cyfrowe bliźnięta pozwalają projektantom aut sprawdzić zachowanie pojazdów w ruchu, w konkretnych warunkach, i tym samym ograniczyć ryzyko utraty zdrowia lub życia kierowców testowych. W połączeniu z łańcuchem bloków inżynierowie mogą kontrolować integralność zastosowanych do budowy pojazdu modułów, podzespołów i części²³. To z kolei pozwoli ograniczyć w przyszłości liczbę niezwykle kosztownych serwisowych akcji przywoławczych, które trapią wielu producentów – bardzo dotkliwy był pod tym względem dla nich (a przede wszystkim dla użytkowników)

21 D. Ivanov, A. Dolgui, A. Das, B. Sokolov, *Digital Supply Chain Twins: Managing the Ripple Effect, Resilience, and Disruption Risks by Data-Driven Optimization, Simulation, and Visibility* [w:] *Handbook of Ripple Effects in the Supply Chain*, red. D. Ivanov, A. Dolgui, B. Sokolov, „International Series in Operations Research & Management Science”, t. 276, Springer Nature, Cham 2019.

22 Z. Huang, *From Data Science to Blockchain – Analytics in Cross-Border Logistics* [w:] *Proceedings of the 8th SIGKDD International Workshop on Urban Computing (UrbComp'19)*, ACM, Anchorage 2019.

23 D. Newman, *Three Technology Trends Enabling Digital Transformation of the Supply Chain*, <https://www.forbes.com/sites/danielnewman/2019/04/10/3-technology-trends-enabling-digital-transformation-of-the-supply-chain/#44b716456239> [dostęp: 15 kwietnia 2020 r.].

rok 2019 – tylko w Polsce było 188 akcji serwisowych²⁴. W przemyśle farmaceutycznym dzięki cyfrowym bliźniętom można testować, w jaki sposób różne odmiany leku działają na pacjenta, co istotnie skraca czas potrzebny na wprowadzenie leku do obrotu²⁵, a w tej branży decyduje to znacząco o przewadze konkurencyjnej i otwiera drzwi do spersonalizowanej medycyny, w której cyfrowe modele pacjentów połączone z dużymi zbiorami biodanych pozwolą na precyzyjne planowanie leczenia²⁶.

Cyfrowa transformacja łańcuchów dostaw jako podejście systemowe. Rola technologii cyfrowych w rekonfiguracji łańcuchów dostaw i tworzeniu nowych modeli biznesu

Opisane technologie cyfrowe stanowią współcześnie kluczowy zasób wspierający konkurencyjność przedsiębiorstw i budowanych przez nie łańcuchów dostaw. Jak zaznaczono, ich strategiczna rola wynika przede wszystkim z możliwości dostępu niemal w czasie rzeczywistym z każdego miejsca na świecie do danych i informacji, obejmujących jednocześnie cały łańcuch dostaw (*end-to-end*).

Upowszechnianie wykorzystania technologii cyfrowych wynika z ich właściwości decydujących o efektach prowadzonej działalności. Warto podkreślić, że właściwości te współgrają z perspektywą dynamicznych zdolności, wśród których na szczególną uwagę zasługują zdolności adaptacyjne, absorpcyjne, innowacyjne, integracyjne, współtworzenia, predykcji, czy też dyfuzji innowacji i wiedzy pomiędzy partnerami w łańcuchu²⁷. W ujęciu ich oddziaływania na łańcuchy dostaw można je zatem nazwać cyfrowymi dynamicznymi zdolnościami (*digital dynamic capabilities*). Należy zauważyć, że cechy te harmonizują z potrzebą dopasowywania sposobu działania łańcuchów dostaw do bieżącej sytuacji gospodarczej, co w rezultacie stymuluje ich ewolucję i powstawanie elastycznych, wrażliwych oraz odpornych łańcuchów²⁸. Tym samym cyfrowe zdolności pobudzają rozwój kolejnego etapu w ewolucji łańcuchów dostaw.

Świadomość znaczenia właściwości technologii cyfrowych w kontekście potencjału dla znaczącej poprawy pozycji konkurencyjnej w zestawieniu z celami strategicznymi przedsiębiorstwa stanowi punkt wyjścia do decyzji związanej z cyfrową transformacją (*digitalization*). Warto

24 A. Jedynak, *Kto wzywał do serwisu w 2019 r.?*, „Auto Świat” 2019, nr 51–52, s. II–IX.

25 D. Newman, *op. cit.*

26 K. Bruynseels, F. Santoni de Sio, J. van den Hoven, *Digital Twins in Health Care: Ethical Implications of an Emerging Engineering Paradigm*, „Frontiers in Genetics” 2018, t. 9, nr 31, <https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00031>.

27 C.L. Wang, P.K. Ahmed, *Dynamic capabilities: A review and research agenda*, „International Journal of Management Reviews” 2007, t. 9, nr 1, s. 31–51, <https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2007.00201.x>; D.J. Teece, *The Foundations of Enterprise Performance: Dynamic and Ordinary Capabilities in an (Economic) Theory of Firms*, „Academy of Management Perspectives” 2014, t. 28, nr 4, s. 328–352, <https://doi.org/10.5465/amp.2013.0116>; M. Poniatowska-Jaksch, *Dynamiczne zdolności źródłem przewag konkurencyjnych platform wirtualnych*, „Ekonomika i Organizacja Przedsiębiorstwa” 2018, nr 3, s. 82–91.

28 Więcej na ten temat: M. Szymczak, *Ewolucja łańcuchów dostaw*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, Poznań 2015, s. 70–91.

podkreślić strategiczne znaczenie tej decyzji, jako że częstokroć łączy się ona nie tylko z samą zmianą sposobu funkcjonowania modelu biznesu. Daje ona również możliwość wejścia na nowe rynki, dostępu do nowych segmentów klientów czy dostarczania nowych produktów (zarówno w kontekście ich rdzenia, jak i pakietu usług towarzyszących). Tym samym cyfrowa transformacja łańcucha dostaw jest wynikiem strategii cyfrowej transformacji przyjętej w pierwszej kolejności przez przedsiębiorstwo.

Wobec powyższego cyfrową transformację łańcucha dostaw (*supply chain digital transformation*) warto rozumieć jako przemianę modelu biznesu łańcucha dostaw, który dostarcza nową wartość w oparciu o technologie cyfrowe w celu osiągnięcia wyższej efektywności w ramach realizacji celów strategicznych stawianych łańcuchom dostaw²⁹. Takie podejście do znaczenia cyfrowej transformacji predefiniuje założenia i sposób jej przeprowadzenia.

Jeżeli w założeniu cyfrowa transformacja ma przynieść pewien wymierny efekt w ramach konkretnego łańcucha dostaw, należy w niej przyjąć podejście systemowe. Chodzi tu zatem nie o cyfryzację (*digitization*) pojedynczych działań czy procesów, ale o holistyczne spojrzenie na łańcuch dostaw jako system współzależnych ogniw połączonych w ramach realizacji zbioru procesów dostarczających wartość konsumentom. Istotne jest więc rozumienie łańcucha dostaw podlegającego cyfrowej transformacji w sposób kompleksowy, a nie jako sumy części składowych.

Powyższa zmiana myślenia wiąże się z rekonfiguracją, rekonstrukcją lub budowaniem nowego modelu biznesu łańcucha dostaw. Wynika to z włączania technologii cyfrowych w dotychczasowe zasady funkcjonowania wśród partnerów zaangażowanych w przepływy zasobów, a w zasadzie z ich gotowości na cyfrową transformację. Z tego względu można przypuszczać, że dojrzałość cyfrowa i umiejętność postrzegania łańcucha dostaw jako „rozszerzonego przedsiębiorstwa” coraz częściej będą nowym, istotnym kryterium wyboru partnerów biznesowych. Sytuacja ta jest podyktowana faktem, że maksymalizację korzyści z implementacji systemów cyberfizycznych, do których należą technologie cyfrowe, m.in. cyfrowe bliźnięta, chmura obliczeniowa, mgła obliczeniowa, *big data*, łańcuch bloków, czy internet rzeczy, osiąga się, gdy analizowane i udostępniane są dane oraz informacje pochodzące jednocześnie z wielu źródeł. W ten sposób zarządzający łańcuchami dostaw mogą zwiększać przejrzystość przepływów, ograniczać koszty w ujęciu globalnym i równocześnie niwelować niepewność oraz ryzyka pojawiające się zarówno w samym łańcuchu, jak i w jego otoczeniu. Takie rozwiązania mają tym samym przeciwdziałać wymienionym wcześniej negatywnym efektom zdarzeń typu pandemia koronawirusa³⁰.

Jednocześnie należy mieć na względzie fakt, że jedynie część łańcuchów dostaw jest zintegrowana, wobec czego niewątpliwie będzie to rozwiązanie dla wybranych. Mowa tu jest zatem przede wszystkim o łańcuchach posiadających dominującego lidera będącego w stanie egzekwować realizację strategii i definiować rozwiązania stosowane w całym łańcuchu dostaw. Innym sce-

29 Zob. K. Nowicka, *Technologie cyfrowe jako determinanta transformacji łańcuchów dostaw*, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2019, s. 137.

30 R. van Hoek, *Research opportunities for a more resilient post-COVID-19 supply chain – closing the gap between research findings and industry practice*, „International Journal of Operations & Production Management” 2020, t. 40, nr 4, <https://doi.org/10.1108/IJOPM-03-2020-0165>.

nariuszem może być zastosowanie technologii jedynie w odcinkach łańcuchów dostaw, co – jak zaznaczono – nie będzie maksymalizowało korzyści całego systemu, ale będzie pozwalało na szybką rekonfigurację wykorzystywanych zasobów w przypadku pojawiających się alertów. Ponadto warto zwrócić uwagę na to, że w wielu przypadkach przedsiębiorstwa funkcjonują jednocześnie w kilku lub nawet kilkunastu łańcuchach dostaw (jako ogniwo rozbudowanych sieci). Jest to sytuacja, która umożliwia budowanie portfela modeli biznesu łańcuchów dostaw, wśród których mogą istnieć opisane wcześniej przesłanki cyfrowej transformacji wybranego łańcucha. Zmapowanie przepływów i zdiagnozowanie dojrzałości cyfrowej partnerów biznesowych to więc pierwsze kroki zmierzające w kierunku decyzji o cyfrowej transformacji. Naturalnie odbywa się to z uwzględnieniem potrzeb konsumenta, co jest założeniem i permanentnym elementem strategii konkurencyjnego przedsiębiorstwa.

Dodatkowo warto zauważyć, że cyfrowa transformacja jest niestandardowym procesem. Wynika to z nieustannego udoskonalania technologii, które stymulują rozwój łańcucha dostaw. W rezultacie relatywnie trudno jest wskazać konkretny moment zakończenia procesu cyfrowej transformacji. Nie wyklucza to jednak możliwości wyróżnienia kilku podstawowych etapów tego procesu. Jak wspomniano, cyfrowa transformacja łańcuchów dostaw ma źródło w strategii przedsiębiorstwa, ta zaś jest nakierowana na realizację potrzeb konsumentów. Wobec tego także w tym przypadku to konsumenci są głównym inicjatorem zmian w modelach biznesu łańcuchów dostaw. W dalszej kolejności opracowuje się model operacyjny i model zarządzania łańcuchem dostaw; odbywa się planowanie zintegrowanych działań w ramach funkcji zaopatrzenia, produkcji i dystrybucji; określa się mierniki i wskaźniki oczekiwanych rezultatów dla poszczególnych funkcji oraz buduje się infrastrukturę kompilacji różnych technologii umożliwiających realizację celów strategicznych zarówno samego przedsiębiorstwa (lidera łańcucha), jak i łańcucha dostaw³¹.

Wdrażanie technologii cyfrowych odbywa się etapami. W początkowym stadium mamy do czynienia z pojedynczymi, niezintegrowanymi aplikacjami (technologiami) udoskonalającymi poszczególne działania i funkcje. Jak wcześniej wskazano, ten etap można nazwać cyfryzacją, np. cyfryzacją działań logistycznych. Następnie technologie są integrowane w ramach modeli biznesu pojedynczych przedsiębiorstw (np. w ramach budowania przywołanych wcześniej, należących do koncepcji Przemysłu 4.0, inteligentnych fabryk). Ten etap to cyfrowa transformacja biznesu. W końcowej fazie technologia jest integrowana w ramach megaprocesu łańcucha dostaw. Tu chodzi o cyfrową transformację łańcuchów dostaw, która prowadzi do budowy cyfrowego (inteligentnego) łańcucha dostaw opartego w pełni na systemach cyberfizycznych.

Ze względu na dyfuzję technologii cyfrowych można przyjąć, że współcześnie większość przedsiębiorstw przechodzi cyfryzację. Jednakże jedynie nieliczne z nich podlegają procesowi cyfrowej transformacji (przedsiębiorstwa i/lub łańcucha dostaw). Jak zaznaczono, wymaga ona bowiem wpisania w ujęcie strategiczne i prezentowania takiego samego podejścia w praktyce działań operacyjnych.

31 Zob. M. Raab, B. Griffin-Cryan, *Digital Transformation of Supply Chains. Creating Value – When Digital Meets Physical*, Capgemini 2011, s. 9.

Inteligentny łańcuch dostaw i inteligentna logistyka – w kierunku systemów rezyliencyjnych i proekologicznych. Ujęcie koncepcyjne i praktyczne

W literaturze przedmiotu można znaleźć kilka określeń definiujących łańcuchy dostaw bazujące na właściwościach technologii cyfrowych – są to najczęściej cyfrowe (*digital*), sprytnie (*smart*) lub inteligentne (*intelligent*) łańcuchy dostaw³². Koncepcja inteligentnego łańcucha dostaw koncentruje się na aspektach integracji, monitoringu potrzeb w czasie rzeczywistym, wykorzystaniu opisanych technologii cyfrowych w celu poprawy adaptacyjności wobec zgłaszanego popytu z zachowaniem najniższych kosztów³³. Jest to platforma zorientowana na realizację potrzeb klienta, która w czasie rzeczywistym przechwytuje i maksymalizuje wykorzystanie danych pochodzących z różnych źródeł. Umożliwia stymulację popytu, jego dopasowywanie i wykrywanie oraz zarządzanie nim w celu optymalizacji wydajności oraz zminimalizowania ryzyka³⁴. Dzięki udostępnianiu znacznych ilości informacji pozwala na lepszą współpracę, co skutkuje poprawą niezawodności, zwinności i skuteczności³⁵. Jest ona także rozumiana jako inteligentny, oparty na dostarczaniu wartości, wydajny proces tworzenia nowych form przychodów. W takim modelu kluczowy jest sposób zarządzania procesami łańcucha dostaw za pomocą szerokiej gamy innowacyjnych technologii cyfrowych³⁶.

Aby zdefiniować potencjał inteligentnych łańcuchów dostaw w kontekście ograniczenia przez nie niestabilności przepływów, warto wskazać ich najważniejsze atrybuty. Należą do nich³⁷:

- wykorzystywanie technologii cyfrowych, które dzięki swoim właściwościom i ich kompilacji wychodzą naprzeciw tworzeniu podmiotów opartych na dynamicznych zdolnościach;
- połączenie pomiędzy wszystkimi ogniwami, ich aktywami, systemami IT, maszynami, produktami i innymi obiektami w ramach danego łańcucha; dzięki takiemu połączeniu możliwe jest zarządzanie całym łańcuchem;
- inteligencja wspomagająca decyzje podejmowane na szeroką skalę, dla których perspektywą jest podejście systemowe;

32 Dla uproszczenia w niniejszym artykule przyjmuje się pojęcie „inteligentny łańcuch dostaw”, które jest uważane za tożsame z pozostałymi, tj. z cyfrowym i sprytnym łańcuchem dostaw.

33 J. Yan *et al.*, *Intelligent Supply Chain Integration and Management Based on Cloud of Things*, „International Journal of Distributed Sensor Networks” 2014, s. 2, <https://doi.org/10.1155/2014/624839>.

34 The Center for Global Enterprise, *Digital Supply Chains: A Frontside Flip. Building Competitive Advantage to Optimize Performance and Customer Demand*, 2016, s. 6, https://www.dscinstitute.org/assets/documents/a-frontside-flip_white-paper_english-version.pdf [dostęp: 20 kwietnia 2020 r.].

35 M. Raab, B. Griffin-Cyran, *op. cit.*, s. 3.

36 G. Büyüközkan, F. Göçer, *Digital Supply Chain: Literature review and a proposed framework for future research*, „Computers in Industry” 2018, t. 97, s. 157, <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.02.010>.

37 L. Wu, X. Yue, A. Jin, D.C. Yen, *Smart supply chain management: a review and implications for future research*, „International Journal of Logistics Management” 2016, t. 27, nr 2, s. 369, 400, <https://doi.org/10.1108/IJLM-02-2014-0035>.

- zautomatyzowanie w obszarach, które nie dodają wartości, i samouczenie się w obszarach, w których można wykorzystywać sztuczną inteligencję³⁸;
- integrowanie polegające na wspólnym wykorzystywaniu systemów i na wymianie informacji;
- innowacja i innowacyjność polegające na rozwijaniu nowych wartości dzięki dostarczaniu przez łańcuch dostaw rozwiązań, które lepiej spełniają nowe wymagania i potrzeby;
- elastyczność wynikająca ze skalowalności całego modelu; istnieje możliwość łatwego przyłączenia nowych partnerów do systemu w zależności od potrzeb wynikających z tworzonej i dostarczanej spersonalizowanej wartości; w rezultacie maksymalizowana jest wydajność wynikająca z integracji i współdziaływania kompetencji ludzi, procesów oraz technologii; system staje się rezylentny wobec zmiennych warunków konkurowania;
- „cyberświadomość” będąca możliwością przeprowadzania transakcji w sposób bezpieczny dla przesyłanych, przechowywanych i przetwarzanych danych³⁹;
- funkcjonowanie bez przerwy;
- funkcjonowanie zrównoważone, czyli wychodzące naprzeciw potrzebie ograniczenia negatywnego wpływu działalności gospodarczej na środowisko naturalne i tym samym niwelujące niekorzystne efekty zewnętrzne łańcucha dostaw.

Analiza powyższych atrybutów ukazuje, że model biznesu inteligentnego łańcucha dostaw, oparty na kompilacji właściwości technologii cyfrowych, jest w stanie dostarczać wartości wyższych w porównaniu z tradycyjnymi łańcuchami dostaw.

Wymienione atrybuty stanowią też potencjał dla budowania rozwiązań stabilnych dzięki elastyczności, adaptacyjności i odporności względem szybko zachodzących zmian w bliższym oraz dalszym otoczeniu łańcucha dostaw. Wykorzystanie możliwości konfiguracji zasobów dostępnych na życzenie, czyli w takiej ilości, w jakiej aktualnie są potrzebne, uelastycznia budowę modelu biznesu, która może być dopasowywana do bieżącego poziomu i struktury popytu. Wzrasta również precyzja dopasowywania podaży do zindywidualizowanego popytu. Pojawia się możliwość wprowadzania mikrosegmentacji klientów i konsumentów przy jednoczesnym wzroście potencjału do wdrażania koncepcji masowej personalizacji. Przykładem może tu być branża tekstylna, w której proces rozpoczyna się od zeskanowania sylwetki konsumenta, następnie jest wykonywany wspomagany komputerowo projekt ubrania i informacja jest przesyłana na zautomatyzowaną linię produkcyjną⁴⁰. Inteligentne łańcuchy dostaw ewoluują od sterowanych produkcją, nastawianą na uzupełnianie zapasów w magazynach, do sterowanych operacjami wykonywanymi w krótkim czasie, nastawionymi na przepływ dużych ilości ładunków z wykorzystaniem niższego poziomu zasobów przy jednoczesnym obniżaniu kosztów globalnych⁴¹. Łań-

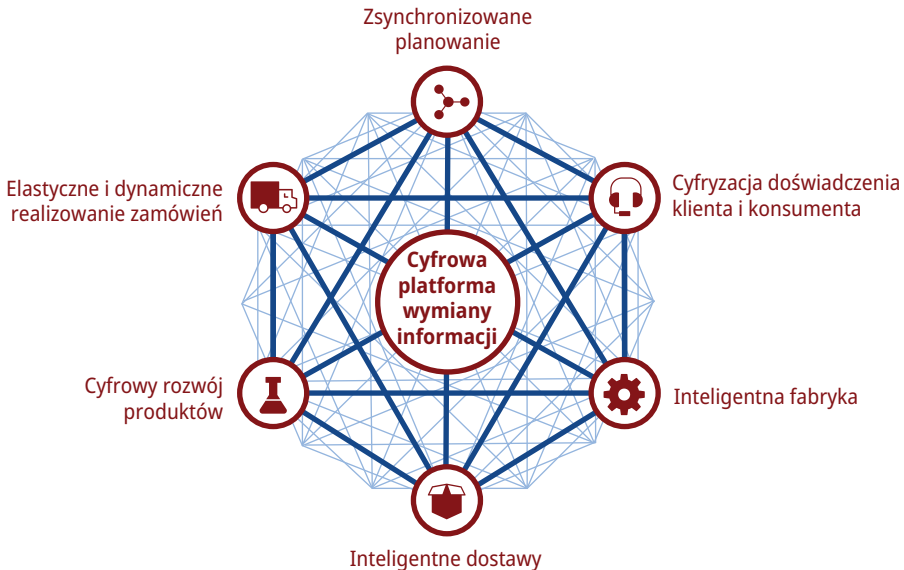
38 IDC, *The Path to a Thinking Supply Chain*, Technology Spotlight, 2017, https://www.supplychainbrain.com/ext/resources/secure_download/KellysFiles/WhitePapersAndBenchMarkReports/IBMWorldwideCommerce/The_Path_to_a_Thinking_Supply_Chain.PDF [dostęp: 28 września 2020 r.].

39 *Ibidem*.

40 K.M. King, *Digital textile printing & mass customization*, „American Association of Textile Chemists and Colorists Review” 2002, t. 2, nr 6, s. 9.

41 Deloitte, MHI, *The 2017 MHI Annual Industry Report. Next-Generation Supply Chains: Digital, On-Demand and Always-On*, 2017.

Rysunek 2. Kluczowe elementy inteligentnego łańcucha dostaw



Źródło: Deloitte, *Digital Supply Networks*, <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/operations/solutions/digital-supply-networks.html> [dostęp: 25 kwietnia 2020 r.].

cuchy te są też adaptacyjne i wrażliwe na zmiany, są bowiem w stanie bezbłędnie oraz płynnie reagować na zmienne wymagania klientów⁴². Wychodzą w ten sposób naprzeciw zgłaszanej potrzebie budowania dynamicznej struktury zasobów łańcucha szybko reagującego na zmiany i posiadającego zdolność ciągłego uzupełniania zasobów⁴³ oraz uczenia się. Ze względu na udostępnianie informacji o popycie w czasie rzeczywistym pomiędzy partnerami handlowymi proces wspólnego planowania umożliwi poprawę synchronizacji całego łańcucha. Będzie ona mogła być rozszerzona o proces wspólnego projektowania produktu, co będzie dawało możliwość proaktywnego kształtowania potrzeb i oczekiwań konsumentów. Odporność łańcuchów wynika przede wszystkim z niskiego poziomu wrażliwości na nieprzewidziane zmiany⁴⁴. Niepewność i ryzyko są niwelowane dzięki wykorzystaniu zaawansowanych systemów analitycznych włączających dane i informacje pochodzące z różnych źródeł, a także dzięki elastyczności umożliwiającej szybką rekonfigurację przepływu, podczas którego wykryto niepożądane zdarzenie. Przykładowe obszary wpływu technologii cyfrowych na zarządzanie łańcuchem dostaw i jego zmianę w model inteligentnego łańcucha dostaw przedstawiono na rysunku 2.

⁴² *SMART Supply Network*, red. A. Kawa, A. Maryniak, Springer International Publishing AG, Cham 2019, s. v.

⁴³ J. Gattorna, *Dynamic Supply Chains. Delivering Value Through People*, wyd. 2, Financial Times/Prentice Hall, London 2010; S. Wyciślak, *Cyfryzacja praktyk szczupłych i zwinnych w organizacji*, „Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach” 2018, nr 351.

⁴⁴ S. Wyciślak, *op. cit.*

Technologie cyfrowe mogą odegrać szczególną rolę w budowaniu rezyliencyjnych łańcuchów dostaw ze względu na możliwość łączenia i analizy dużych zbiorów danych, co jest niezbędne w procesie planowania źródeł dostaw i przepływów na różnych etapach łańcucha. Dodatkowo wykorzystywanie chmury obliczeniowej i internetu rzeczy sprawia, że możliwe staje się budowanie platformy cyfrowej, np. w formie tzw. wieży kontroli (*Supply Chain Control Tower*). Jest to rozwiązanie pozwalające na zarządzanie łańcuchem dostaw i przepływami (informacji oraz produktów) niemal w czasie rzeczywistym oraz na niwelowanie negatywnych skutków pojawiających się ryzyk. Z tego rozwiązania korzystają, m.in. Unilever, Procter & Gamble, Samsung Electronics, Cisco, Colgate-Palmolive, Coca-Cola, Walmart, Lenovo Group, Kimberly-Clark i Caterpillar. Jest to również koncepcja wdrażana przez przedsiębiorstwa logistyczne, m.in. Dachser czy Grupę Raben. Platformy koordynujące przepływ informacji i towarów mogą być wykorzystywane także do koordynacji innych działań i procesów łańcucha dostaw.

Jednym z przykładów wykorzystania internetu rzeczy może być Evolution3 – zaawansowany system czujników do opon opracowany przez Michelin⁴⁵. Czujniki w oponach informują o temperaturze i ciśnieniu w czasie rzeczywistym za pośrednictwem np. e-maili i wiadomości tekstowych. W ten sposób dane są przekształcane w praktyczną wiedzę, którą można wykorzystać, aby zapobiec przegrzaniu, czyli głównej przyczynie uszkodzenia opony. Te informacje mogą również służyć ciągłemu udoskonalaniu oferowanych produktów.

Innym przykładem wykorzystania technologii może być rozwiązanie, które przyjął Walmart (we współpracy z IBM), oparte na zastosowaniu łańcucha bloków w celu zapewnienia większego bezpieczeństwa produktów spożywczych w procesie ich przepływu przez łańcuch dostaw. Rozwiązanie zastosowano w łańcuchu dostaw wieprzowiny z Chin i w łańcuchu dostaw mango w obu Amerykach⁴⁶. Problemy z jakością owoców mango mogą zacząć się już podczas zbiorów, kiedy zdarzają się egzemplarze zepsute lub zanieczyszczone. Kolejne zagrożenia związane z zanieczyszczeniami mogą się pojawić podczas czyszczenia i krojenia. Technologia łańcucha bloków stosowana od momentu uprawy owoców poprzez każdy etap ich łańcucha dostaw (produkcję, obróbkę, przechowywanie, transport) umożliwia kontrolowanie warunków (np. temperatury, wilgotności) i zachowanie przyjętych standardów przez poszczególnych uczestników tego procesu. Łańcuch bloków jest wykorzystywany również we współpracy z instytucjami publicznymi, do których trafia stosowna dokumentacja związana z procedurą importu żywności na rynek amerykański. Dodatkowo łańcuch bloków znajduje zastosowanie w kontroli zapasów i w monitoringu przepływów poszczególnych partii, a także umożliwia identyfikację jakości tego procesu na poziomie pojedynczego produktu.

Jeśli chodzi o wsparcie działań logistycznych poprzez nowe technologie, to rozwiązania te dotyczą głównie transportu i operacji realizowanych w magazynach. Na przykład w centrach dystrybucji lub innych magazynach można wykorzystywać automatyzację linii kompletacyjnych dla obsługi procesu zamówienia, dzięki czemu możliwe staje się zwiększenie skali działalności.

45 *Michelin earthmover – Michelin launches the MEMS Evolution3* <https://www.michelin.com/en/press-releases/michelin-earthmover-michelin-launches-the-mems-evolution3/> [dostęp: 29 kwietnia 2020 r.].

46 R. Kamath, *Food Traceability on Blockchain: Walmart's Pork and Mango Pilots with IBM*, „Journal of the British Blockchain Association” 2018, t. 1, nr 1, s. 1–12, [https://doi.org/10.31585/jbba-1-1-\(10\)2018](https://doi.org/10.31585/jbba-1-1-(10)2018).

Takie rozwiązanie jest stosowane np. przez spółkę Frisco.pl (internetowy sklep spożywczy), która ze względu na potrzeby kompletacji zwiększonej podczas pandemii liczby zamówień przemodelowała centrum dystrybucyjne zgodnie z założeniami zaplanowanymi do realizacji za dwa lata⁴⁷. Automatyzacja poprawia bezpieczeństwo warunków pracy, zwiększa wydajność pracowników i obniża koszty obsługi zamówień, np. przez lepszą kontrolę stanów magazynowych czy eliminację błędów ludzkich.

Ponadto budowane są również platformy cyfrowe udostępniające informacje (i umożliwiające dzielenie się informacjami) wspierające rozwój łańcuchów dostaw (także tych o obiegu zamkniętym). Przykładem może być platforma The European Resource Efficiency Knowledge Centre, która dostarcza informacji wspierających poprawę wydajności wykorzystywanych zasobów. Powstają też platformy branżowe dla dzielenia się informacjami na temat aktualnych regulacji związanych np. z użyciem substancji niebezpiecznych. Zawarto tam dodatkowe rekomendacje co do konfigurowania łańcuchów dostaw zgodnie z bieżącymi wymogami prawnymi. Przykładami takich rozwiązań mogą być BOMcheck oraz International Material Data System (IMDS) – stworzone dla przedsiębiorstw motoryzacyjnych i stanowiące obszar do wymiany ważnych informacji dla interesariuszy sektora.

Charakterystyka modelu biznesu inteligentnego łańcucha dostaw stanowi interesujący punkt wyjścia do budowania inteligentnych łańcuchów dostaw o obiegu zamkniętym (*intelligent closed-loop supply chains*). Ze względu na zachodzącą degradację środowiska naturalnego, rozwój polityk klimatycznych i wynikających z nich nowych regulacji proekologicznych oraz wzrost poziomu świadomości i oczekiwań konsumentów wobec sposobu prowadzenia działalności gospodarczej koncepcja zrównoważonego rozwoju przeżywa obecnie swój renesans. Warto zauważyć, że sama idea zrównoważonych łańcuchów dostaw również nie jest pojęciem nowym. Jeżeli jednak przyjąć, że „zachowania strategiczne przedsiębiorstw postępują w ślad za charakterystykami otoczenia”⁴⁸, połączenie potencjału technologii cyfrowych z opisanymi zmianami nakierowanymi na budowanie proekologicznych modeli biznesu zdaje się współcześnie ważnym kierunkiem rozwoju.

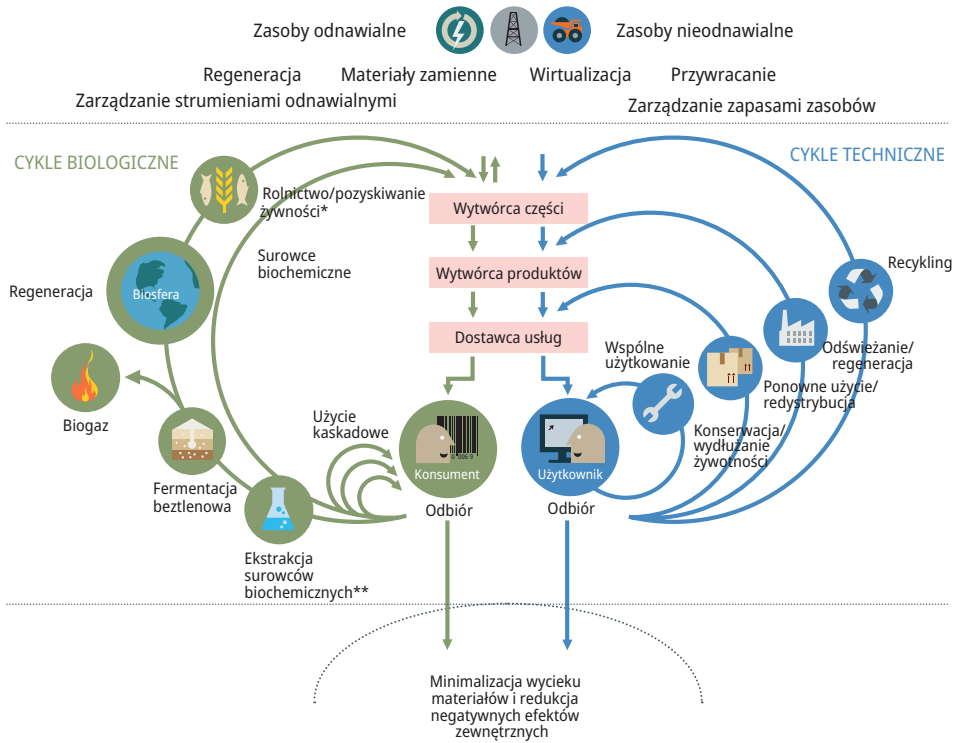
Gospodarce obiegu zamkniętego związanej z cyklem biologicznym i technicznym przyswiewiają trzy główne zasady⁴⁹: 1) zachowanie i wzbogacanie kapitału naturalnego poprzez kontrolę ograniczonych zasobów i równoważenie strumieni zasobów odnawialnych; 2) optymalizacja wykorzystania surowców poprzez utrzymywanie produktów, komponentów i materiałów w obiegu, z zachowaniem ich najwyższej użyteczności w obydwu cyklach; 3) rozwijanie wydajności systemu poprzez identyfikację i usuwanie negatywnych efektów zewnętrznych. Zostały one zobrazowane na rysunku 3. Cykle domykane po stronie technicznej mogą być rozumiane jako kluczowe części modeli biznesu łańcuchów dostaw o obiegu zamkniętym.

47 Prezes Frisco.pl: Linie automatyczne nie zatrzymywały się przez blisko 40 dni, pracują 24 godziny na dobę, <https://next.gazeta.pl/next/7,173953,25873379,prezes-frisco-pl-dzisiaj-jestesmy-wyprzedani-do-28-maja.html#s=BoxOpImg1> [dostęp: 29 kwietnia 2020 r.].

48 E.I. Stańczyk-Hugiet, *Dynamika strategiczna w ujęciu ewolucyjnym*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław 2013, s. 16.

49 Ellen MacArthur Foundation, *Ku gospodarce o obiegu zamkniętym: biznesowe uzasadnienie przyspieszonej zmiany*, listopad 2015, s. 5, 7.

Rysunek 3. Cykle gospodarki obiegu zamkniętego jako pętle łańcucha dostaw



* Rybołówstwo i myślistwo; ** Materiał wejściowy mogą stanowić odpady pożywne i pokonsumpcyjne.

Źródło: Ellen MacArthur Foundation, *Ku gospodarce o obiegu zamkniętym: biznesowe uzasadnienie przyspieszonej zmiany*, listopad 2015, s. 6.

Warto zauważyć, że zasady te współgrają z rozwijaniem inteligentnych łańcuchów dostaw (ich cyfrową transformacją), w których maksymalizacja efektów jest osiągnięta przez podejście systemowe nastawione na ograniczanie marnotrawstwa zasobów. Wykorzystanie technologii cyfrowych, z zachowaniem opisanej filozofii cyfrowej transformacji, w łańcuchach dostaw cyklu zamkniętego prowadzi do ich zrównoważonej cyfrowej transformacji (*supply chain sustainable digital transformation*).

Podsumowanie

Czwarta rewolucja przemysłowa i wywołany przez nią rozwój systemów cyberfizycznych zacieśniających granicę pomiędzy sferą procesów realnych a sferą procesów informacyjnych stają się rzeczywistością na każdej płaszczyźnie życia społeczno-gospodarczego. Ekosystemy technologii cyfrowych nieustannie rozwijają nowe środowisko funkcjonowania i dyktują nowe zasady konkurowania. W efekcie powstają nowe modele biznesu, budowane są nowe relacje, aliansy i sieci

współpracy. Sytuacja ta stanowi jednocześnie dobry moment na opracowanie innowacyjnych strategii, które pozwolą zdobyć i utrzymać przewagę konkurencyjną nad innymi.

Szybko postępujący rozwój systemów cyberfizycznych odgrywa szczególną rolę dla logistyki i zarządzania łańcuchem dostaw. Są to bowiem procesy nakierowane na poprawę konkurencyjności przedsiębiorstwa, a wykorzystanie technologii cyfrowych w bezpośredni sposób może przyczynić się do osiągnięcia takich celów. Specjalnego znaczenia nabierają takie technologie, jak internet rzeczy, chmura i mgła obliczeniowa, *big data*, cyfrowe bliźnięta czy łańcuch bloków. Te technologie, a w zasadzie cyfrowe ekosystemy, posiadają właściwości kompilacji danych pochodzących z rozproszonych (często w skali globalnej) źródeł. Mogą nimi być obiekty, złożone procesy łączące ogromną liczbę interesariuszy pojedynczego przepływu ładunku, czy też procesy identyfikujące zachowania poszczególnych klientów i konsumentów, umożliwiające personalizację sposobu działania łańcucha dostaw sterowanego potrzebami klientów i konsumentów. W rezultacie trudno znaleźć lepsze zasoby pozwalające dynamicznie reagować na zmienność otoczenia i jednocześnie poprawiać efektywność przepływów.

W tym miejscu należy podkreślić komplementarność rozwiązań na poziomie przedsiębiorstwa i jego łańcuchów dostaw wobec rozwiązań na poziomie makro. Infrastruktura technologiczna udostępniana w poszczególnych regionach, państwach czy częściach świata może stanowić skuteczną barierę (lub stymulant) dla implementacji omawianych rozwiązań, bez względu na stan gotowości przedsiębiorstwa.

Wykorzystanie technologii cyfrowych z jednej strony usprawnia działania logistyczne, z drugiej – może stanowić ważny element cyfrowej transformacji całego łańcucha dostaw. Transformacja ta prowadzi do powstawania inteligentnych łańcuchów dostaw, które cechuje elastyczność, adaptacyjność i odporność. Budowanie takich łańcuchów dostaw opiera się na implementacji zbioru rozwiązań z zakresu inteligentnej logistyki bazującej na ekosystemie właściwości technologii cyfrowych. „Inteligencja” tych łańcuchów nie odnosi się jednak jedynie do umiejętnego wdrożenia danego rozwiązania IT. Niezbędne jest bowiem szersze spojrzenie na łańcuch dostaw jako mechanizm kreowania wartości, wynikający z możliwości uwzględniania całego spektrum zdarzeń zachodzących nie tylko w obrębie przepływów, ale przede wszystkim w ich otoczeniu. Łańcuchy te zatem czerpią wiedzę z bliższego oraz dalszego otoczenia i równocześnie są w stanie w sposób spójny realizować przyjętą strategię. Tymczasem w praktyce gospodarczej wciąż brakuje rozwiązań, które najpełniej mogłyby zilustrować przedstawioną w artykule koncepcję inteligentnych łańcuchów dostaw. Jest to ograniczenie dla realizacji przyjętego problemu badawczego, zarazem jednak sytuacja ta może stanowić wyzwanie, aby mierzyć się ze wskazanymi barierami powstrzymującymi wdrażanie nowoczesnych rozwiązań stymulujących poprawę konkurencyjności logistyki i łańcuchów dostaw.

Problematyka wpływu działalności gospodarczej na środowisko naturalne jest współcześnie jednym z kluczowych tematów związanych z zarządzaniem łańcuchami dostaw. W tym kontekście warto zauważyć, że rola technologii cyfrowych w tworzeniu proekologicznych łańcuchów dostaw może odnosić się do kilku płaszczyzn: samych technologii, których właściwości ograniczają potrzebę realizacji szeregu działań i procesów („zamieniaj zasoby na informacje”); możliwości budowania modeli biznesu łańcuchów dostaw, które w najlepszym stopniu odpowiadają

bieżącym warunkom konkurencji (elastycznych, adaptacyjnych bądź odpornych); możliwości włączania zróżnicowanych grup interesariuszy do realizacji przyjętej strategii (np. dostawców energii wytwarzających ją ze zrównoważonych źródeł, która zasila działania logistyczne podejmowane w zrównoważonym łańcuchu dostaw).

Budowanie inteligentnych zrównoważonych łańcuchów dostaw (*intelligent sustainable supply chains*), szczególnie modeli o obiegu zamkniętym, wymaga jednak spełnienia kilku kluczowych warunków, tj. chęci dzielenia się danymi i informacjami oraz współpracy (głównie w obszarze planowania). Stanowią one podstawy zintegrowanych łańcuchów dostaw i jednocześnie mogą być najważniejszymi barierami dla rozwoju omawianych koncepcji. Identyfikacja tych barier wraz z zestawieniem potencjału oddziaływania technologii cyfrowych na kształtowanie proekologicznych modeli biznesu (w tym łańcuchów o obiegu zamkniętym) skutecznie konkurujących w nowych warunkach otoczenia gospodarczego wciąż stanowią lukę badawczą. Jest to tym samym ważny i interesujący kierunek badań, które warto podjąć w najbliższej przyszłości.

Bibliografia

- Baheti R., Gill H., *Cyber-physical Systems [w:] The Impact of Control Technology. Overview, Success Stories, and Research Challenges*, red. T. Samad, A. Annaswamy, IEEE Control Systems Society 2011.
- Banaseka F.K., Dotse S., *New Developments and Research Challenges for 5G Wireless Systems and Networks*, „International Journal of Current Research” 2017, t. 9, nr 2.
- Boccardi F. et al., *Five disruptive technology directions for 5G*, „IEEE Communications Magazine” 2014, t. 52, nr 2, <https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6736746>.
- Bruynseels K., Santoni de Sio F., van den Hoven J., *Digital Twins in Health Care: Ethical Implications of an Emerging Engineering Paradigm*, „Frontiers in Genetics” 2018, t. 9, nr 31, <https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00031>.
- Büyükközkcan G., Göçer F., *Digital Supply Chain: Literature review and a proposed framework for future research*, „Computers in Industry” 2018, t. 97, <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.02.010>.
- The Center for Global Enterprise, *Digital Supply Chains: A Frontside Flip. Building Competitive Advantage to Optimize Performance and Customer Demand*, 2016, https://www.dscinstitute.org/assets/documents/a-frontside-flip_white-paper_english-version.pdf.
- Chen S., Zhao J., *The requirements, challenges, and technologies for 5G of terrestrial mobile telecommunication*, „IEEE Communications Magazine” 2014, t. 52, nr 5, <https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6815891>.
- Chopra S., Meindl P., *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*, wyd. 2, Person and Prentice Hall, New Jersey 2004.
- Christensen C.M., *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*, Harvard Business School Press, Boston 1997.
- Council of Logistics Management, *What's It All About?*, Oak Brook, IL 1986.
- Crandall R.E., *Industry 1.0 to 4.0: The Evolution of Smart Factories*, „SCM Now”, September/October 2017.
- Deloitte, *Digital Supply Networks*, <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/operations/solutions/digital-supply-networks.html> (25.04.2020).
- Deloitte, MHI, *The 2017 MHI Annual Industry Report. Next-Generation Supply Chains: Digital, On-Demand and Always-On*, 2017.

- Ding W., *Study of Smart Warehouse Management System Based on the IOT* [w:] *Intelligence Computation and Evolutionary Computation*, red. Z. Du, AISC, t. 180, Springer, Berlin–Heidelberg 2013.
- Ellen MacArthur Foundation, *Ku gospodarce o obiegu zamkniętym: biznesowe uzasadnienie przyspieszonej zmiany*, listopad 2015.
- European Patent Office, *Patents and the Fourth Industrial Revolution. Summary of Key Findings*, Munich 2017.
- Evolution from LTE to 5G – Market Status – Feb 2020, <https://gsacom.com/paper/lte-to-5g-market-status-feb-2020/>.
- Gattorna, J., *Dynamic Supply Chains. Delivering Value Through People*, wyd. 2, Financial Times/Prentice Hall, London 2010.
- Gupta A., Jha R.K., *A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies*, „IEEE Access” 2015, t. 3, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2461602>.
- van Hoek R., *Research opportunities for a more resilient post-COVID-19 supply chain – closing the gap between research findings and industry practice*, „International Journal of Operations & Production Management” 2020, t. 40, nr 4, <https://doi.org/10.1108/IJOPM-03-2020-0165>.
- Huang Z., *From Data Science to Blockchain – Analytics in Cross-Border Logistics* [w:] *Proceedings of the 8th SIGKDD International Workshop on Urban Computing (UrbComp'19)*, ACM, Anchorage 2019.
- IDC, *The Path to a Thinking Supply Chain*, Technology Spotlight, 2017, https://www.supplychainbrain.com/ext/resources/secure_download/KellysFiles/WhitePapersAndBenchMarkReports/IBMWorlwideCommerce/The_Path_to_a_Thinking_Supply_Chain.PDF.
- Ivanov D., Dolgui A., *A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0*, „Production Planning & Control” 2020, <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1768450>.
- Ivanov D., Dolgui A., Das A., Sokolov B., *Digital Supply Chain Twins: Managing the Ripple Effect, Resilience, and Disruption Risks by Data-Driven Optimization, Simulation, and Visibility* [w:] *Handbook of Ripple Effects in the Supply Chain*, red. D. Ivanov, A. Dolgui, B. Sokolov, „International Series in Operations Research & Management Science”, t. 276, Springer Nature, Cham 2019.
- Jedynak A., *Kto wzywał do serwisu w 2019 r.?*, „Auto Świat” 2019, nr 51–52.
- Kagermann H., Lukas W.D., Wahlster W., *Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution*, „VDI Nachrichten” 2011, nr 13.
- Kamath R., *Food Traceability on Blockchain: Walmart's Pork and Mango Pilots with IBM*, „Journal of The British Blockchain Association” 2018, t. 1, nr 1, [https://doi.org/10.31585/jbba-1-1-\(10\)2018](https://doi.org/10.31585/jbba-1-1-(10)2018).
- King K.M., *Digital textile printing & mass customization*, „American Association of Textile Chemists and Colorists Review” 2002, t. 2, nr 6.
- Konkel M., *Koronawirus nie lubi robotów*, „Puls Biznesu”, 18 maja 2020 r.
- Liu S. et al., *Edge Computing for Autonomous Driving: Opportunities and Challenges*, „Proceedings of the IEEE” 2019, t. 107, nr 8, <https://doi.org/10.1109/JPROC.2019.2915983>.
- Maheswaran M., Yang T., Memon S., *A Fog Computing Framework for Autonomous Driving Assist: Architecture, Experiments, and Challenges*, <https://arxiv.org/pdf/1907.09454.pdf>.
- Mazurkiewicz P., *Chiński handel: roboty, streaming, płatności mobilne na straganie*, „Rzeczpospolita”, Raport ekonomiczny nr 12 – E-handel, 4 grudnia 2019 r.
- Michelin earthmover – Michelin launches the MEMS Evolution3, <https://www.michelin.com/en/press-releases/michelin-earthmover-michelin-launches-the-mems-evolution3/>.
- Militano L. et al., *Device-to-Device Communications for 5G Internet of Things*, „EAI Endorsed Transactions on Internet of Things” 2015, t. 1, nr 1, <http://dx.doi.org/10.4108/eai.26-10-2015.150598>.

- Newman D., *Three Technology Trends Enabling Digital Transformation of the Supply Chain*, <https://www.forbes.com/sites/danielnewman/2019/04/10/3-technology-trends-enabling-digital-transformation-of-the-supply-chain/#44b716456239>.
- Nowicka K., *Technologie cyfrowe jako determinanta transformacji łańcuchów dostaw*, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2019.
- Poniatowska-Jaksch M., *Dynamiczne zdolności źródłem przewag konkurencyjnych platform wirtualnych*, „Ekonomika i Organizacja Przedsiębiorstwa” 2018, nr 3.
- Prezes Frisco.pl: *Linie automatyczne nie zatrzymywały się przez blisko 40 dni, pracują 24 godziny na dobę*, <https://next.gazeta.pl/next/7,173953,25873379,prezes-frisco-pl-dzisiaj-jestesmy-wyprzedani-do-28-maja.html#s=BoxOpImg1>.
- Puffer S.M., *Global executive: Intel's Andrew Grove on competitiveness*, „Academy of Management Perspectives” 1999, t. 13, nr 1, <https://doi.org/10.5465/ame.1999.1567273>.
- Raab M., Griffin-Cyran B., *Digital Transformation of Supply Chains. Creating Value – When Digital Meets Physical*, Capgemini 2011.
- Rahman A.A., Hamid U.Z.A., Chin Th.A., *Emerging Technologies with Disruptive Effects: A Review*, „PERINTIS eJournal” 2017, t. 7, nr 2.
- SMART Supply Network*, red. A. Kawa, A. Maryniak, Springer International Publishing AG, Cham 2019.
- Stańczyk-Hugiet E.I., *Dynamika strategiczna w ujęciu ewolucyjnym*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław 2013.
- Szymczak M., *Ewolucja łańcuchów dostaw*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, Poznań 2015.
- Szymczak M., *Idea smart convenience w łańcuchach dostaw produktów żywnościowych*, „Logistyka” 2015, nr 3.
- Teece D.J., *The Foundations of Enterprise Performance: Dynamic and Ordinary Capabilities in an (Economic) Theory of Firms*, „Academy of Management Perspectives” 2014, t. 28, nr 4, <https://doi.org/10.5465/amp.2013.0116>.
- Wang C.L., Ahmed P.K., *Dynamic capabilities: A review and research agenda*, „International Journal of Management Reviews” 2007, t. 9, nr 1, <https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2007.00201.x>.
- Wu L., Yue X., Jin A., Yen D.C., *Smart supply chain management: a review and implications for future research*, „International Journal of Logistics Management” 2016, t. 27, nr 2, <https://doi.org/10.1108/IJLM-02-2014-0035>.
- Wyciślak S., *Cyfrizacja praktyk szczupłych i zwinnych w organizacji*, „Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach” 2018, nr 351.
- Yan J. et al., *Intelligent Supply Chain Integration and Management Based on Cloud of Things*, „International Journal of Distributed Sensor Networks” 2014, <https://doi.org/10.1155/2014/624839>.
- Zatoński, M., *Sklepy e-spożywcze podniosły ceny*, „Puls Biznesu”, 19 maja 2020 r.