REDAKCJA NAUKOWA KATARZYNA NOWICKA

GOSPODARKA W OBIEGU ZAMKNIĘTYM

ŁAŃCUCHY DOSTAW

CZĘŚĆ 2

SGH Oficyna Wydawnicza

GOSPODARKA
W OBIEGU ZAMKNIĘTYM

ŁAŃCUCHY DOSTAW

CZĘŚĆ 2

REDAKCJA NAUKOWA KATARZYNA NOWICKA

GOSPODARKA W OBIEGU ZAMKNIĘTYM

ŁAŃCUCHY DOSTAW

CZĘŚĆ 2

SGH Oficyna Wydawnicza

WARSZAWA 2022

Recenzje
Sabina Kauf
Blanka Tundys

Redakcja językowa
Sylwia Sperling

© Copyright by Szkoła Główna Handlowa w Warszawie, Warszawa 2022
Wszelkie prawa zastrzeżone. Kopiowanie, przedrukowywanie i rozpowszechnianie całości lub fragmentów niniejszej publikacji bez zgody wydawcy zabronione.

Wydanie I

ISBN 978-83-8030-596-0

Oficyna Wydawnicza SGH – Szkoła Główna Handlowa w Warszawie
02-554 Warszawa, al. Niepodległości 162
www.wydawnictwo.sgh.waw.pl
e-mail: wydawnictwo@sgh.waw.pl

Projekt i wykonanie okładki
Magdalena Limbach

Skład i łamanie
DM Quadro

SPIS TREŚCI

Katarzyna Nowicka

WSTĘP 7

1

Katarzyna Nowicka

ISTOTA ŁAŃCUCHÓW DOSTAW O OBIEGU ZAMKNIĘTYM 11

1.1. Wprowadzenie 11
1.2. Łańcuch dostaw – w kierunku zielonej transformacji 12
1.3. Łańcuchy dostaw w gospodarce o obiegu zamkniętym – wyniki badań empirycznych 19
1.4. Współpraca i mierniki efektywności w łańcuchach dostaw o obiegu zamkniętym 24
1.5. Podsumowanie 27

2

Izabela Dembińska, Łukasz Marzantowicz

REZYLIENTNOŚĆ ŁAŃCUCHÓW DOSTAW O OBIEGU ZAMKNIĘTYM 29

2.1. Wprowadzenie 29
2.2. Zachowanie rezylientne jako synergia elastyczności, adaptacyjności i odporności 29
2.3. Łańcuch dostaw jako płaszczyzna odniesienia rezylientnosci 34
2.4. Uwarunkowania rezylientności łańcuchów dostaw o obiegu zamkniętym – wyniki badań empirycznych 38
2.5. Stymulanty i destymulanty zamkniętego cyklu przepływu w łańcuchu dostaw – perspektywa zwrotów 39
2.6. Możliwość zamknięcia cykli przepływów w łańcuchach dostaw i ich odporność 50
2.7. Podsumowanie 55

3

Joanna Archutowska

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI EMISYJNOŚCI CO_2 W TRANSPORCIE DROGOWYM W UJĘCIU DYNAMICZNYM 57

3.1. Wprowadzenie 57
3.2. Spodziewane zmiany techniczne w transporcie istotne dla emisyjności CO_2 60
3.3. Scenariusze postępu technicznego w transporcie drogowym 63
3.4. Założenia i wyniki testowej analizy emisyjności CO_2 w ujęciu dynamicznym 75
3.5. Podsumowanie 84

SPIS TREŚCI

4

Jacek Styś

TECHNOLOGIE CYFROWE W ŁAŃCUCHACH DOSTAW O OBIEGU ZAMKNIĘTYM 87

4.1. Wprowadzenie 87
4.2. Technologie cyfrowe w zarządzaniu 88
4.3. Technologie cyfrowe w logistyce i łańcuchach dostaw 93
4.4. Technologie cyfrowe w łańcuchach dostaw o obiegu zamkniętym 95
4.5. Czynniki stymulujące i bariery rozwoju w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym z wykorzystaniem technologii cyfrowych 98
4.6. Podsumowanie 102

Katarzyna Nowicka

ZAKOŃCZENIE 105

SPIS RYSUNKÓW 111

SPIS TABEL 113

BIBLIOGRAFIA 115

ANEKS 121

Rozkłady częstości dla zmiennych demograficznych w grupie respondentów zarządzających logistyką i łańcuchami dostaw – badanie CATI 121

WSTĘP

Katarzyna Nowicka

Pierwsze wzmianki o gospodarce o obiegu zamkniętym (GOZ) w literaturze naukowej pochodzą z 1966 roku, kiedy to ekonomista specjalizujący się w problematyce ekologii, K.E. Boulding, skrytykował istniejącą liniową „gospodarkę kowbojską" i wprowadził nową koncepcję, zwaną „gospodarką statku kosmicznego", w której wszystkie wykorzystane zasoby zostały zwrócone do systemu[1]. Przez niektórych ekonomistów zajmujących się problematyką środowiska naturalnego teoria ta była uznawana za podstawę badań dotyczących niezdefiniowanych cen i rynków dóbr środowiskowych (tj. jakość powietrza i wody)[2]. Internalizacja efektów zewnętrznych (głównie kosztów) i zwracanie raz wykorzystanych zasobów (a zatem przejście w kierunku zasad GOZ) było zdecydowanie bardziej wymierne i prostsze do oszacowania[3]. W literaturze przedmiotu wskazuje się także W.R. Stahela i G. Redaya, którzy w latach 70. ubiegłego wieku przedstawili koncepcję GOZ w ujęciu wpływu na konkurencyjność przy ograniczaniu wykorzystania zasobów[4] oraz D.W. Pearce'a i R.K. Turnera[5] jako ekonomistów, którzy wprowadzili pojęcie „cyrkularności" i analizowali zależności pomiędzy środowiskiem naturalnym a gospodarką[6].

---

1 K.E. Boulding, *The Economics of the Coming Spaceship Earth*, "Environmental Quality in a Growing Economy" 1966, s. 3–14; P. Ghisellini, C. Cialani, S. Ulgiati, *A Review on Circular Economy: the Expected Transition to a Balanced Interplay of Environmental and Economic Systems*, "Journal of Cleaner Production" 2016, vol. 114, s. 11–32.

2 D.W. Pearce, R.K. Turner, *Economics of Natural Resources and the Environment*, Johns Hopkins University Press, Baltimore 1990.

3 M.S. Andersen, *An Introductory Note on the Environmental Economics of the Circular Economy*, "Sustainable Science" 2007, vol. 2, s. 133–140.

4 W.R. Stahel, G. Reday, *Report The Potential for Substituting Manpower for Energy 1976*, Vantage Press, New York 1976; W.R. Stahel, G. Reday, *Jobs for Tomorrow, the Potential for Substituting Manpower for Energy*, Vantage Press, New York 1981; W.R. Stahel, *The Product-life Factor*, w: *An Inquiry Into the Nature of Dustinable Docieties. The Role of the Private Sector*, S. Grinton Orr (ed.), Houston 1982, s. 72–104.

5 D.W. Pearce, R.K. Turner, *Economics of Natural*..., op. cit.

6 P. Ghisellini, C. Cialani, S. Ulgiati, *A Review on Circular Economy: the Expected Transition to a Balanced Interplay of Environmental and Economic Systems*, "Journal of Cleaner Production" 2016, vol. 114, s. 11–32; J. Greyson, *An Economic Instrument for Zero Waste, Economic Growth and Sustainability*, "Journal of Cleaner Production" 2007, vol. 15, iss. 13–14, s. 1382–1390; M.S. Andersen, *An Introductory Note*..., op. cit.

Pewnym pośrednim etapem w kształtowaniu się koncepcji GOZ jest idea zrównoważonego rozwoju, która od około trzech dekad cieszy się niesłabnącym zainteresowaniem badaczy reprezentujących zróżnicowane dyscypliny naukowe, a w ostatnim okresie także praktyków gospodarczych pragnących wyjść naprzeciw ważnemu trendowi niwelacji kosztów zewnętrznych biznesu.

Jednocześnie wyniki badań nad zrównoważonym rozwojem wciąż wskazują na aspekty ekonomiczne jako kluczowe determinanty zarządzania przedsiębiorstwami[7]. Miasta natomiast nieustannie borykają się z problemem proekologicznej i prospołecznej organizacji ich funkcjonowania. Istnieje zatem konieczność poszukiwania rozwiązań wychodzących naprzeciw realizacji proekologicznych i prospołecznych postulatów kształtujących wybory zarządzających. Jednym z takich rozwiązań jest zarządzanie zgodne z zasadami GOZ osadzone w zachodzących zmianach technologicznych oraz wymogach zrównoważonego rozwoju. Celem tego zarządzania jest innowacyjne wydłużanie cyklu życia (produktu) nakierowane na eliminację kosztów zewnętrznych. Rozwój taki jest współkreowany przez otoczenie instytucjonalne (formalne i nieformalne) oraz czynniki wewnętrzne organizacji modeli biznesu, łańcuchów dostaw i miast.

Wśród wniosków postawionych na podstawie badań prowadzonych dotychczas w Kolegium Nauk o Przedsiębiorstwie SGH, wstępnego przeglądu literatury z zakresu GOZ i badań empirycznych przeprowadzonych pod koniec 2021 roku na temat istotności realizacji zasad zrównoważonego rozwoju oraz roli GOZ dla przedsiębiorstw zlokalizowanych w Polsce i funkcjonujących z wykorzystaniem platform cyfrowych, wskazano kilka kluczowych luk badawczych. Po pierwsze, zdiagnozowano fragmentaryczną i niewystarczającą wiedzę na temat uwarunkowań transformacji polskich przedsiębiorstw oraz marginalną liczbę badań na temat potencjału miast w kierunku GOZ w kontekście organizacyjnymi, instytucjonalnym i technologicznym. W efekcie tej sytuacji istnieje niedobór holistycznej, systemowej wiedzy umożliwiającej postawienie diagnozy wobec możliwości transformacji przedsiębiorstw i miast w Polsce w kierunku zgodnym z wartościami GOZ oraz potrzeba rozwoju repozytorium wiedzy o dobrych praktykach i scenariuszach transformacji w kierunku GOZ.

Biorąc pod uwagę powyższe luki, celem głównym badania jest zbudowanie repozytorium wiedzy na temat stanu gotowości i potrzeb przedsiębiorstw oraz miast w Polsce wobec transformacji w kierunku GOZ w kontekście organizacyjnym, instytucjonalnym i technologicznym. Jednocześnie, w ramach realizacji badania przyjęto

---

7 Por. np. Ł. Marzantowicz, B. Ocicka, A. Pluta-Zaremba, *Ekologiczne podejście do tworzenia łańcucha wartości – stan i uwarunkowania*, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2021.

hipotezę mówiącą, iż przedsiębiorstwa i miasta w Polsce są gotowe do transformacji w kierunku GOZ jedynie w ograniczonym zakresie ze względu na niewystarczające przygotowanie organizacyjne, zbyt słabo wspierające ową transformację uwarunkowania instytucjonalne i niewystarczające wykorzystanie technologii cyfrowych w tym procesie.

Niniejsza praca jest drugą częścią prezentacji wyników badań i skupia się na problematyce organizacji przepływów w cyrkularnych łańcuchach dostaw w ujęciu stymulantów i ograniczeń ich rozwoju.

Badanie zostało sfinansowane ze środków finansowych na badania naukowe realizowane w ramach subwencji na utrzymanie i rozwój potencjału badawczego w Kolegium Nauk o Przedsiębiorstwie w Szkole Głównej Handlowej w Warszawie w latach 2022–2024[8] i zostało wybrane do finansowania w trybie konkursu wewnętrznego przeprowadzonego w Kolegium Nauk o Przedsiębiorstwie na początku 2022 roku.

Niniejsza monografia to druga część wniosków z badań zrealizowanych w 2022 roku. Metodami badawczymi wykorzystanymi do ich realizacji były przegląd literatury i badania ankietowe przeprowadzone metodą CATI. Badania ankietowe przeprowadzono w losowo dobranych przedsiębiorstwach należących do PKD C (przetwórstwo przemysłowe). Wybór przedsiębiorstw tej sekcji był podyktowany założeniem, że posiadają one wiedzę o uwarunkowaniach działalności zgodnie ze zrównoważonym rozwojem wykazując tym samym potencjał do rozwoju w kierunku GOZ. Do badania zakwalifikowano przedsiębiorstwa deklarujące realizację działań związanych z ponownym wykorzystywaniem lub przetwarzaniem produktów w celu eliminacji ich odpadów. Wywiady z opisaną grupą losowo dobranych respondentów odbywały się w dniach 15–21 września 2022 roku. Do grupy respondentów należeli zarządzający logistyką i łańcuchami dostaw, którzy wskazywali sposób organizacji przepływów odpadów, zwrotów i opakowań w ramach GOZ. Podczas realizacji badań wśród logistyków podjęto 726 prób nawiązania skutecznego połączenia telefonicznego, z czego 202 zakończyły się efektywnym wywiadem, 79 nie kwalifikowało się do badania. Rozkłady częstości dla zmiennych demograficznych w grupie respondentów zarządzających logistyką i łańcuchami dostaw znajdują się w Aneksie. Logistycy odpowiedzialni za organizację przepływów w przedsiębiorstwie i w łańcuchach dostaw wypowiadali się na temat sposobu organizacji tych przepływów oraz ich stymulantów i barier. Katalog czynników przygotowano w oparciu o zasoby literatury, wyniki badań prowadzonych w poprzednich latach w Kolegium Nauk

---

[8] Badanie „Przedsiębiorstwo w gospodarce o obiegu zamkniętym: ujęcie organizacyjne, instytucjonalne i technologiczne", źródło finansowania: Subwencja na utrzymanie potencjału badawczego w 2022 roku w Kolegium Nauk o Przedsiębiorstwie, Szkoła Główna Handlowa w Warszawie. Instytucja finansująca: Ministerstwo Edukacji i Nauki. Nr kontraktu/badania/projektu: KNOP/S22:1.3.

o Przedsiębiorstwie SGH i doświadczenia badaczy. Ponadto respondenci oceniali istotność warunków niepewności względem poziomu odporności łańcuchów dostaw firm stosujących praktyki związane z ponownym wykorzystaniem lub przetwarzaniem produktów w celu eliminacji odpadów.

Niniejsza praca składa się z czterech rozdziałów. W pierwszym rozdziale skoncentrowano się na istocie łańcuchów dostaw o obiegu zamkniętym i jest to rozdział autorstwa K. Nowickiej. Problematyka rezylientności łańcuchów dostaw została poruszona w rozdziale drugim, autorstwa I. Dembińskiej i Ł. Marzantowicza, którzy wskazując uwarunkowania owej rezylientności i odporności, w tej części omówili także wyniki badań dotyczące procesu zwrotów w GOZ. Rozdział trzeci dotyczy analizy kosztów i korzyści emisyjności CO_2 w kluczowym działaniu logistycznym tworzącym koszty zewnętrzne, jakim jest transport. Dokonana analiza, autorstwa J. Archutowskiej, odnosi się do ujęcia dynamicznego i diagnozuje możliwe scenariusze rozwoju w bieżących uwarunkowaniach konkurowania. Czwarty rozdział, autorstwa J. Stysia, dotyczy kluczowych technologii wspierających przedsiębiorstwa na ścieżce w kierunku GOZ. Przyjęta tu perspektywa dotyczy zarówno pojedynczego podmiotu gospodarczego, jak i łańcuchów dostaw.

Autorzy składają podziękowania Recenzentkom monografii – prof. dr hab. Sabinie Kauf i dr hab. Blance Tundys, prof. US, za szczegółowe, wnikliwe i bardzo cenne uwagi, które wpłynęły na ostateczny kształt pracy.

1

ISTOTA ŁAŃCUCHÓW DOSTAW O OBIEGU ZAMKNIĘTYM

Katarzyna Nowicka

1.1. Wprowadzenie

Łańcuchy dostaw są permanentnym i nieodzownym elementem możliwości systemowego zarządzania w zgodzie z zasadami GOZ. Analizując już samą istotę łańcuchów dostaw, w bezpośredni sposób widać analogię do cykli technicznych prezentowanych w raporcie Ellen MacArthur cytowanym w pierwszej części pracy (rysunek 3). Mowa tu bowiem o podejściu systemowym, rezylientności, przepływach informacji i produktów, technologiach, potrzebie zapewniania dostępności, optymalizacji ekonomicznej, czy też sieci współpracy partnerów. Wszystkie opisane w pierwszej części pracy wartości i zasady GOZ, wraz z R-strategiami, mogą być realizowane, a ich efekty maksymalizowane jedynie w sytuacji holistycznego podejścia do zarządzania łańcuchem dostaw. W takiej sytuacji adekwatny i miarodajny pomiar efektów na ścieżce transformacji w kierunku GOZ to pomiar obejmujący działania wszystkich zaangażowanych w przepływ partnerów (bezpośrednich i pośrednich). Warto zauważyć, że realizacja tychże założeń jest zdecydowanie bardziej uproszczona dla zintegrowanych łańcuchów dostaw współpracujących w ramach relacji partnerskich (często strategicznych), bądź tych, które w zaawansowany sposób wykorzystują technologie cyfrowe. Celem tego rozdziału jest wskazanie istoty koncepcji łańcuchów dostaw obiegu zamkniętego na tle jego genezy oraz wskazanie zakresu i poziomu realizacji R-strategii w łańcuchach dostaw.

1.2. Łańcuch dostaw – w kierunku zielonej transformacji

Łańcuch dostaw to „sieć połączonych i współzależnych wzajemnie organizacji i współpracujących ze sobą w celu kontroli, zarządzania i poprawy przepływu materiałów i informacji od dostawców do użytkowników końcowych”[9]. J. Witkowski rozumie zarządzanie łańcuchem dostaw jako proces decyzyjny związany z synchronizowaniem fizycznych, informacyjnych i finansowych strumieni popytu i podaży przepływających między jego uczestnikami w celu osiągnięcia przez nich przewagi konkurencyjnej i tworzenia wartości dodanej z korzyścią dla wszystkich jego ogniw, klientów oraz pozostałych interesariuszy[10]. Wskazując główne cele zarządzania łańcuchem dostaw, można wyróżnić minimalizację kosztów przepływu produktów i informacji, przy zachowaniu wymaganego przez klientów poziomu jakości obsługi oraz zapewnieniu najkrótszego czasu realizacji zamówień i możliwie wysokiej niezawodności, częstotliwości oraz elastyczności dostaw przy niezmienionym poziomie kosztów globalnych (całego łańcucha).

Istotą możliwości zarządzania łańcuchem dostaw, jako spójną organizacją realizującą wspólną strategię i wskazane powyżej cele, jest integracja. Kluczowymi czynnikami integracji łańcucha dostaw są natomiast[11]: standaryzacja, ujednolicenie rozwiązań, transparentność informacyjna, technologie informacyjne[12], strategia i koncepcje zarządzania, zaufanie[13], partnerstwo[14], centralizacja zapasów, wspólne zarządzanie zapasami, planowanie i projektowanie produktu powodujące zacieranie granic między ogniwami – partnerami w łańcuchu dostaw – przy czym każde z owych ogniw ma swoją pozycję i prawa w dążeniu do osiągania wyznaczonego celu, a także podziału korzyści wynikających z efektów synergii we współdziałaniu[15].

Biorąc pod uwagę kluczową rolę działań logistycznych, tj. transport czy magazynowanie w tworzeniu kosztów zewnętrznych, powstało szereg koncepcji i rozwiązań praktycznych zmierzających do niwelacji owych kosztów w łańcuchu dostaw i logistyce[16]. W owym szerokim spektrum koncepcji budowania bądź rozwijania

---

9 J. Aitken, *Supply Chain Integration within the Context of the Supplier Association*, Cranfield University, 1998. http://dspace.lib.cranfield.ac.uk/handle/1826/9990 (dostęp: 4.10.2022).

10 J. Witkowski, *Zarządzanie łańcuchem dostaw. Koncepcje, procedury, doświadczenia*, PWE, Warszawa 2003, s. 29.

11 J. Witkowski, A. Pisarek, *Istota zielonych łańcuchów dostaw – propozycja systematyzacji pojęć*, „Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe UE w Katowicach” 2017, vol. 315, s. 12.

12 Więcej na ten temat: K. Nowicka, *Technologie cyfrowe...*, op. cit.

13 Por. K. Nowicka, *Trust in Digital Supply Chain Management*, “Logistics & Transport” 2018, vol. 39. no. 2.

14 Por. K. Nowicka, *Współpraca partnerska w łańcuchu dostaw*, „Gospodarka Materiałowa i Logistyka” 2011, nr 6.

15 J. Witkowski, A. Pisarek, *Istota zielonych...*, op. cit.

16 Por. np. K. Rutkowski (red.), *Best Practices in Logistics and Supply Chain Management. The Case of Poland*, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2009; K. Rutkowski (red.), *Najlepsze praktyki w zarządzaniu łań-*

modeli biznesu łańcuchów dostaw, których operacje projektowane są z założeniem ograniczania negatywnego wpływu na środowisko, wskazuje się na zielone, zrównoważone, odpowiedzialne, ekologiczne, ekologistyczne, odwrotne, czy też łańcuchy dostaw obiegu zamkniętego[17]. Jedną z pierwszych koncepcji zielonego łańcucha dostaw była idea z 1996 roku przedstawiająca kompleksowe relacje pomiędzy środowiskiem naturalnym a optymalizacją produkcji w łańcuchu dostaw. Jej głównym założeniem było minimalizowanie negatywnego wpływu na środowisko, w ramach którego monitorowano przepływ produktu przez cały cykl jego życia, a także śledzono przepływy produktów wycofanych z obiegu. Tak rozumiane zarządzanie zielonym łańcuchem dostaw wychodzi naprzeciw koncepcji mapowania i monitorowania wszystkich etapów przepływów ładunków wraz z etapami projektowania, produkcji, pakowania, sprzedaży, użytkowania i recyclingu, a także z uwzględnieniem procesów magazynowania i transportu, umożliwiając ocenę poziomu osiągania oczekiwanych norm środowiskowych[18].

Model biznesu zielonego łańcucha dostaw charakteryzuje się niską emisją zanieczyszczeń, a ochrona środowiska jest wpisana w cały jego proces, począwszy od pozyskania materiału, a skończywszy na dostarczeniu finalnego produktu i gospodarce odpadami[19]. Proces ten przedstawia rysunek 1.

W zaawansowanych rozwiązaniach koncepcji zielonego łańcucha dostaw, bazującego na „zazielenieniu" i nieszkodzeniu środowisku naturalnemu na każdym etapie każdego procesu, wykorzystuje się także rozwiązania polegające na domykaniu pętli poprzez ponowne użytkowanie, recykling, przetworzenie i powrót do obiegu tego samego lub zmodyfikowanego produktu[20].

Podobną do zielonego łańcucha dostaw jest koncepcja zrównoważonego łańcucha dostaw, który koordynuje przepływy materiałów i informacji, jak również kooperację między przedsiębiorstwami, realizując cele ekonomiczne, środowiskowe i społeczne[21]. Zarządzanie zrównoważonym łańcuchem dostaw to zarządzanie czynnościami w nim zachodzącymi, jak również zasobami w celu maksymalizacji rentowności łańcucha dostaw, przy jednoczesnym minimalizowaniu jego negatywnego

---

cuchem dostaw. Wyjść naprzeciw wyzwaniom społecznej odpowiedzialności biznesu, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2008.

17 J. Witkowski, A. Pisarek, *Istota zielonych*..., op. cit., s. 19.

18 S.K. Srivastave, *Green Supply Chain Management: A State-of-the-Art Literature Review*, "International Journal of Management Reviews" 2007, vol. 9(1), s. 53–80.

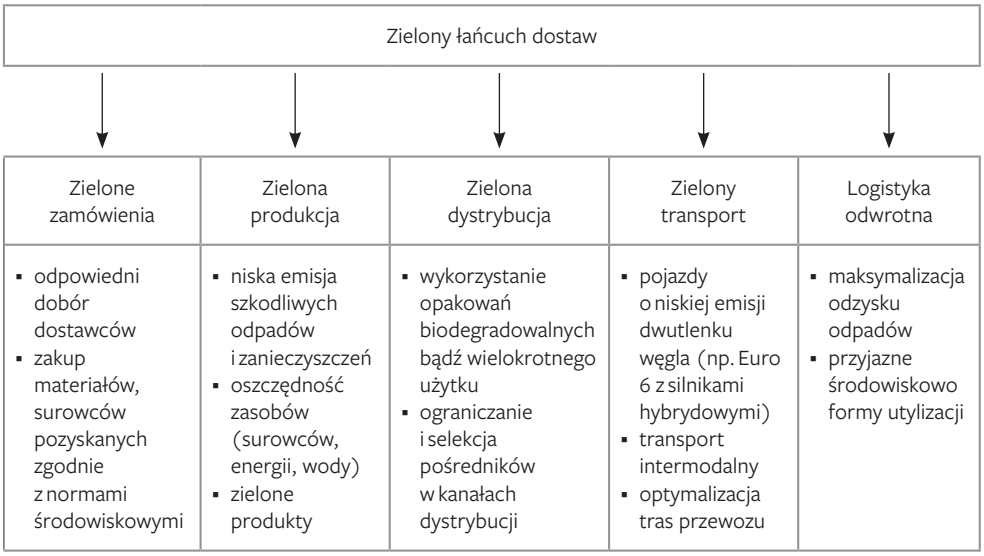
19 J. Witkowski, A. Pisarek, *Istota zielonych*..., op. cit.

20 B. Tundys, *Zielony łańcuch dostaw w gospodarce o okrężnym obiegu-założenia, relacje, implikacje* w: *Ekonomiczne, społeczne i środowiskowe uwarunkowania logistyki*, A. Skowrońska, J. Witkowski (red.), „Prace Naukowe UE we Wrocławiu", nr 383, Wrocław 2015, s. 293.

21 S. Seuring, M. Müller, *From a Literature Review to a Conceptual Framework for Sustainable Supply Chain Management*, "Journal of Cleaner Production" 2008, vol. 16(15).

wpływu na środowisko i maksymalizacji dobrobytu społecznego[22]. Należy podkreślić, że zrównoważony łańcuch dostaw, poza aspektami środowiskowymi, uwzględnia aspekty społeczne (czyli uczciwe praktyki pracownicze, przestrzeganie prawa pracy i praw człowieka, godziwe wynagradzanie, przestrzeganie zasad równouprawnienia, troska o zasady BHP, a także praktyki nastawione na współpracę ze społecznościami lokalnymi)[23].

Rysunek 1. Części składowe zielonych łańcuchów dostaw



Źródło: J. Witkowski, A. Pisarek, *Istota zielonych łańcuchów dostaw – propozycja systematyzacji pojęć*, „Studia Ekonomiczne. Zeszyty UE w Katowicach" 2017, nr 315, s. 22, za: C. Ninlawan, P. Seksan, K. Tossapol, W. Pilada, *The Implementation of Green Supply Chain Management Practices in Electronic Industry*, w: *Proceedings of the International Multiconference of Engineers and Computers Scientist*, vol. III, IMECS, Hong Kong 2010.

Węższym pojęciem, które mieści się w definicji zielonych łańcuchów dostaw, jest ekologistyczny łańcuch dostaw, który może być rozumiany jako zbiór współpracujących podmiotów i procesów zachodzących na ścieżce przepływu odpadów, w tym informacji i gotówki im towarzyszącej[24]. Ponadto w literaturze przedmiotu wskazuje się także koncepcje ekologistyki, logistyki utylizacji, logistyki odpadów, logistyki odwrotnej, logistyki odzysku, logistyki recyklingu czy też logistyki powtór-

22 E. Hassini, C. Surti, C. Searcy, *A Literature Review and a Case Study of Sustainable Supply Chains with a Focus on Metrics*, "International Journal of Production Economics" 2012, vol. 140(1).

23 J. Witkowski, A. Pisarek, *Istota zielonych*..., op. cit.

24 A. Baraniecka, *Rozwój ekologistycznych łańcuchów dostaw jako skutek kryzysów: ekonomicznego i środowiskowego*, w: *Ekonomiczne, społeczne i środowiskowe uwarunkowania logistyki*, A. Skowrońska, J. Witkowski (red.), „Prace Naukowe UE we Wrocławiu", nr 383, Wrocław 2015, s. 241.

nego zagospodarowania[25]. Wszystkie z wymienionych pojęć stanowią pewien punkt wyjścia i stymulant do rozwoju współczesnego rozumienia łańcuchów dostaw obiegu zamkniętego (ŁDOZ). Dla przykładu można wskazać definicję logistyki odwrotnej opracowaną w 1999 roku, według której „jest to proces planowania, wdrażania i kontroli efektywności kosztowej przepływów surowców, zapasów w produkcji, wyrobów gotowych i informacji z nimi powiązanych, począwszy od punktu konsumpcji do punktu pierwotnego w celu odzyskania wartości bądź prawidłowego usunięcia"[26]. W tym ujęciu wskazuje się nie tylko kierunek przepływów, ale także potrzebę odzyskiwania wartości oraz potrzebę ograniczania odpadów – co stanowi element istoty GOZ. Spojrzenie na logistykę przez pryzmat GOZ wskazuje na kilka jej kluczowych ról w procesie domykania cykli, wśród których można wymienić:

- wybór metod i zasobów niezbędnych do realizacji działań logistycznych, z uwzględnieniem ich całkowitych kosztów ekologicznych (ekologistycznych),
- wybór dostawców realizujących tożsame lub chociaż zbieżne strategie zrównoważonego rozwoju na poziomie poszczególnych działań logistycznych,
- wybór produktów lub surowców (materiałów, półproduktów, itp.) cechujących się podatnością cyrkularną rozumianą jako stopień możliwości ponownego wykorzystania w zróżnicowanych cyklach obiegu zamkniętego zmierzającą do maksymalizacji czasu życia produktu (podatność naturalna, techniczna i ekonomiczna).

W świetle powyższych rozważań kolejnym krokiem w procesie transformacji łańcucha dostaw w kierunku zbieżnym ze zrównoważonym rozwojem jest potrzeba spojrzenia na rolę GOZ w transformacji łańcuchów dostaw. Już na pierwszy rzut oka widać, że koncepcja GOZ współgra z istotą łańcuchów dostaw związaną z zarządzaniem przepływami ładunków (cyklem technicznym). W efekcie upowszechnianie koncepcji GOZ stymuluje rozwijanie nowych modeli biznesu łańcuchów dostaw cykli zamkniętych.

Warto zauważyć, że jednym ze stymulantów rozwoju tych modeli są oczekiwane korzyści wynikające z transformacji działań transportowych i mobilności w kierunku GOZ. Taka transformacja oferuje większy wybór możliwości transportu, tj. współdzielenie, elektryfikację, pojazdy autonomiczne, rozwiązania multimodalne i maksymalizujące wykorzystanie miejsca podczas podróży (także tras powrotnych organizowanych w cyklach domkniętych), itp. Zindywidualizowana mobilność

---

25 K. Witkowski, *Aspekty logistyki zwrotów i recyklingu tworzyw sztucznych*, w: *Ekonomiczne, społeczne i środowiskowe uwarunkowania logistyki*, A. Skowrońska, J. Witkowski (red.), „Prace Naukowe UE we Wrocławiu", nr 383, Wrocław 2015.

26 D.S. Roged, R. Tibben-Lembke, *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices,* Reverse Logistics Executive Council, University of Nevada, Reno 1999.

byłaby świadczona jako usługa (*Mobility as a Service*, MaaS)[27], a lepsza integracja systemu transportowego sprawiłaby, iż większość podróży byłaby multimodalna, przestrzeń transportowa byłaby lepiej wykorzystana, ograniczone zostałyby kongestie, zanieczyszczenie powietrza czy też potrzeby parkingowe. W efekcie takich praktyk koszt pasażerokilometra może obniżyć się nawet o 80% do 2050 roku[28].

W efekcie zmian zachodzących pod wpływem wdrażania zasad GOZ budowane są ŁDOZ (*Circular Supply Chains*, CSC)[29], w których proces decyzyjny związany z synchronizowaniem fizycznych, informacyjnych i finansowych strumieni popytu oraz podaży przepływających między jego uczestnikami w celu osiągnięcia przez nich przewagi konkurencyjnej i tworzenia wartości dodanej z korzyścią dla wszystkich jego ogniw oraz pozostałych interesariuszy nakierowany jest na niwelację kosztów zewnętrznych i wykluczanie tworzenia odpadów wykorzystując zróżnicowane sposoby domykania cykli[30].

ŁDOZ koncentruje się na zwrocie, redystrybucji i odzyskaniu wartości produktów posprzedażowych[31], a zarządzanie tego typu systemami obejmuje proaktywną i efektywną strategię tworzenia modeli biznesu łańcuchów dostaw umożliwiających realizację R-strategii i podkreślają wymagania środowiskowe, społeczne i ekonomiczne[32]. Ponadto wśród sposobów domykania cykli w ujęciu propozycji wartości tworzonej w ramach ŁDOZ można wyróżnić zmianę przeznaczenia zastosowania, zamianę towaru na usługę, wspólne użytkowanie, regenerację, naprawę, czy też tworzenie innych, nowych propozycji wartości.

W zasadzie wszystkie R-strategie znajdują swoje odzwierciedlenie w możliwości (re)konfigurowania modeli biznesu ŁDOZ. Należy jednak podkreślić, że realizacja celów zarządzania ŁDOZ wymaga przyjęcia podejścia systemowego, w którym

---

27 K. Nowicka, *Rozwój świata wirtualnego i jego wypływ na e-mobilność*. w: *e-Mobilność – wizje i scenariusze rozwoju*, J. Gajewski, W. Paprocki, J. Pieriegud (red.), Publikacja Europejskiego Kongresu Finansowego, Instytut Badań nad Gospodarką Rynkową – Gdańska Akademia Bankowa, Gdańsk 2017, s. 53–54; por. też K. Nowicka, *Zielone łańcuchy dostaw 4.0* w: *Polityka klimatyczna i jej realizacja w pierwszej połowie XXI wieku*, J. Gajewski, W. Paprocki (red.), Publikacja Europejskiego Kongresu Finansowego, Sopot 2020.

28 *Growth Within Circular Economy Vision for a Competitive Europe*, Ellen MacArthur Foundation, McKinsey Center for Business and Environment, SUN, 2015.

29 G.V. Pishchulov, K.K. Richter, N.V. Pakhomova, M.K. Tsenzharik, *A Circular Economy Perspective on Sustainable Supply Chain Management: An Updated Survey*, "St. Petersburg University Journal of Economic Studies" 2018, vol. 34(2), s. 267–297. DOI: 10.21638/11701/spbu05.2018.204.

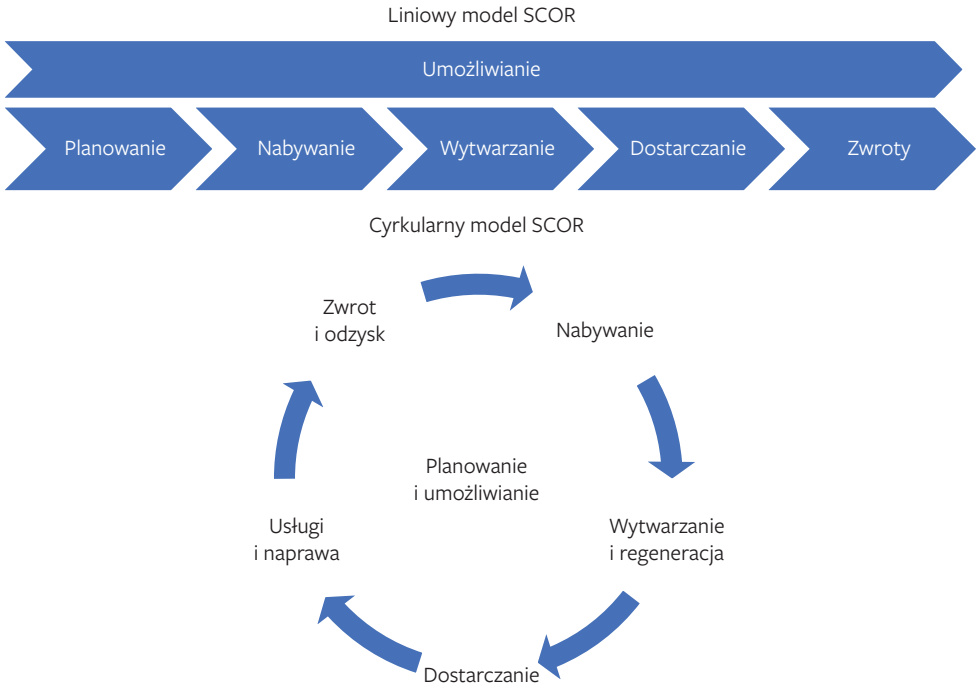
30 E. Akçalı, S. Çetinkaya, H. Üster, *Network Design for Reverse and Closed-loop Supply Chains: An Annotated Bibliography of Models and Solution Approaches*, "Networks" 2009, vol. 53(3), s. 231–248.

31 V.D.R. Guide Jr, L.N. Van Wassenhove, *The Evolution of Closed-loop Supply Chain Research*, "Operations Research" 2009, vol. 57(1), s. 10–18.

32 Q. Zhu, Y. Geng, K. Lai, *Circular Economy Practices among Chinese Manufacturers Varying in Environmental-oriented Supply Chain Cooperation and the Performance Implications*, "Journal of Environmental Management" 2010, vol. 91(6), s. 1324–1331.

jednocześnie następuje migracja z ujęcia liniowego do perspektywy cyrkularnej. Przykładem takiej rekonfiguracji może być model SCOR[33], którego wersję opracowaną na potrzeby GOZ przedstawia rysunek 2. Zmiany w istniejących procesach realizowanych w dotychczasowy, liniowy sposób będą następować wraz z rozwojem i upowszechnianiem się koncepcji, bardzo często, w skali międzynarodowej. Wynika to głównie z faktu możliwości dywersyfikacji źródeł nabywania produktów (materiałów, surowców, itp.) i znajdywania dla nich alternatyw umożliwiających wielokrotne przetworzenie lub nadanie nowych funkcji. W efekcie, jeszcze większego znaczenia nabiorą funkcje zakupów i zaopatrzenia w przedsiębiorstwie, a zatrudnieni w tych obszarach staną się ekspertami z zakresu odzysku. Proces wytwarzania zmienia się w proces wytwarzania i regeneracji w celu niwelacji poziomu odpadów poprzez wydłużanie cyklu życia produktu. Rozszerza to proces produkcyjny o dodatkowe procesy i czynności wymagane do zwrotu materiałów na rynek globalny w GOZ.

Rysunek 2. Liniowy i cyrkularny model SCOR



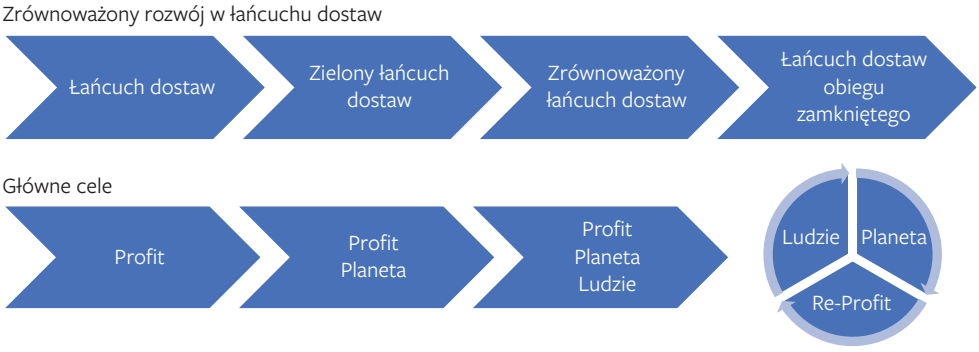
Źródło: D. Dull, *Circular Supply Chains Will Shift SCOR Supply Chain Processes*, ASCM Insights, 11.12.19, https://www.ascm.org/ascm-insights/circular-supply-chains-will-shift-scor-supply-chain-processes/ (dostęp: 17.04.2022).

33 D. Dull, *Circular Supply Chains Will Shift SCOR Supply Chain Processes*, ASCM Insights, 11.12.19, https://www.ascm.org/ascm-insights/circular-supply-chains-will-shift-scor-supply-chain-processes/ (dostęp: 17.04.2022).

Dodatkowym ważnym procesem wspierającym ŁDOZ jest usługa i naprawa. Ta część obiegu dotyczy rosnącej roli czynności naprawczych i konserwacyjnych nakierowanych na możliwość wydłużania wykorzystania raz wyprodukowanego produktu. Jest to także obszar włączający funkcję zamiany towaru na usługę (*Product as a Service*) i pomnażania efektów korzyści skali. Wszystkie te modele są wspierane przez technologię przemysłu 4.0[34].

Analizując rolę aspektów ekologicznych i zrównoważonego rozwoju w ewolucji zarządzania łańcuchami dostaw, można stwierdzić, że ŁDOZ stanowią kolejny etap rozwoju tej koncepcji, co zostało zilustrowane na rysunku 3. Przedstawione na nim cele ŁDOZ koncentrują się na maksymalizacji wartości poprzez wykorzystywanie R-strategii, których dobór jest współzależny względem potrzeb konsumentów, dostępu do dostawców i substytutów. Szczególnego znaczenia nabiera tu także odległość ekologiczna pomiędzy partnerami, która determinuje wybór dostawcy (i klienta). Odległość ekologiczna jest wkalkulowana w globalne koszty (eko)logistyczne i jest sumą wszystkich kosztów zewnętrznych łańcucha dostaw. Tym samym, w ramach podejścia systemowego w zarządzaniu ŁDOZ, mowa jest o współzależności kosztów zewnętrznych w ramach zmian dokonywanych w obrębie działań logistycznych wzdłuż całego łańcucha dostaw i potrzebie pomiaru globalnych zewnętrznych kosztów logistycznych.

Rysunek 3. Ewolucja roli zrównoważonego rozwoju w zarządzaniu łańcuchami dostaw



Źródło: opracowanie własne.

[34] Por. K. Nowicka, M. Szymczak, *Łańcuchy dostaw i logistyka w obliczu czwartej rewolucji przemysłowej*, w: *Gospodarka, rynek i państwo wobec rewolucji technologicznej*, K. Marchewka-Bartkowiak, M. Korolewska (red.), „Studia Biura Analiz Sejmowych Kancelarii Sejmu", III kwartał 2020.

1.3. Łańcuchy dostaw w gospodarce o obiegu zamkniętym – wyniki badań empirycznych

W ramach badań empirycznych przeprowadzonych wśród zarządzających logistyką i łańcuchami dostaw w przedsiębiorstwach należących do sekcji PKD C (przetwórstwo przemysłowe) diagnozowano zakres odpowiedzialności należący do tych funkcji w przedsiębiorstwie oraz sposób ich realizacji w kontekście R-strategii.

W pierwszej kolejności respondenci poproszeni zostali o wskazanie obszaru działań należących do GOZ w ramach gospodarowania odpadami poprodukcyjnymi, zwrotami wykorzystanych produktów do ich ponownego zagospodarowania i zwrotami opakowań wykorzystywanych w działaniach logistycznych (tj. opakowania zbiorcze, folia do pakowania, kartony plastikowe wielokrotnego użytku, palety i inne potrzebne do bezpiecznego magazynowania i transportu). Zdecydowana większość respondentów (82%) prowadzi działania związane z gospodarką odpadami poprodukcyjnymi, niemal jedna trzecia zajmuje się zwrotami produktów, a niecała jedna czwarta respondentów gospodaruje zwrotami opakowań „logistycznych" (tabela 1).

Tabela 1. Działania realizowane przez działy logistyki w obszarze GOZ

Lp.	Działanie	Liczba odpowiedzi	Udział działań GOZ (w %)
1	Gospodarka odpadami poprodukcyjnymi	166	82,18
2	Gospodarka zwrotami produktów do ich ponownego zagospodarowania*	55	27,23
3	Gospodarka zwrotami opakowań „logistycznych" (opakowania zbiorcze, folia do pakowania, kartony plastikowe wielokrotnego użytku, palety i inne)	49	24,26

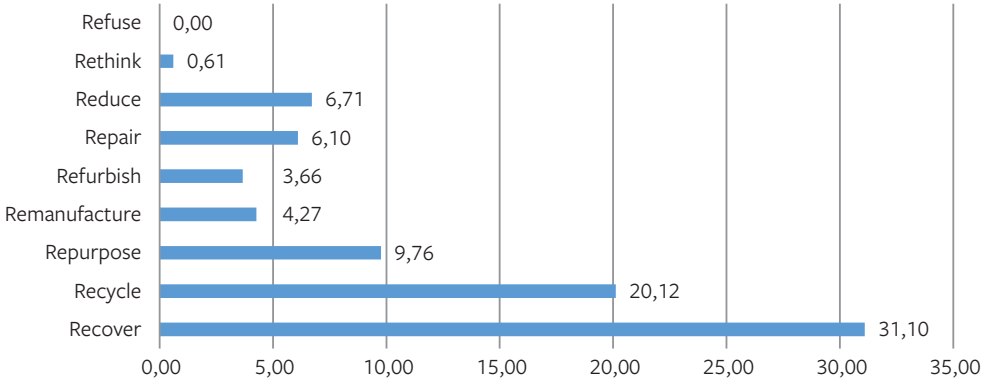
* Gospodarka zwrotami produktów została szerzej omówiona w rozdziale 3.3.2.5.

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań ankietowych.

Dominującą odpowiedzią na pytanie o odsetek odpadów poprodukcyjnych w stosunku do całej produkcji było wskazanie poziomu 3% (26% udzielonych odpowiedzi), w drugiej kolejności wskazano 2-procentowy poziom odpadów poprodukcyjnych (niecałe 15% odpowiedzi) i w trzeciej kolejności – 5% (12% odpowiedzi). W zdecydowanej większości odpowiedzi dotyczących dominującej R-strategii związanej z gospodarką odpadami poprodukcyjnymi respondenci wskazali ich utylizację (*Recover*) – ponad 30%, w dalszej kolejności odpady są ponownie przetwarzane w nowe produkty o innej funkcjonalności niż produkty, z których miały być pierwotnie złożone (*Recycle*). Jedna dziesiąta respondentów wskazała, że odpady są

ponownie wykorzystywane do produkcji nowych towarów o tej samej funkcjonalności, co towary pierwotne (*Repurpose*). Dominujące R-strategie związane z gospodarką odpadami poprodukcyjnymi przedstawia rysunek 4.

Rysunek 4. Dominujące R-strategie związane z gospodarką odpadami poprodukcyjnymi (%)



Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań ankietowych.

Wśród R-strategii stosowanych najdłużej w przedsiębiorstwach dominowały odpowiedzi dotyczące utylizacji (*Recover*), ale respondenci wskazywali także dążenie do zwiększenia wydajności produkcji lub wzrostu konsumpcji przy jednoczesnym ograniczaniu wykorzystania zasobów niezbędnych do jego wytworzenia (*Reduce*). Ta ostatnia R-strategia jest interesującym rozwiązaniem wpływającym na redukcję odpadów i jednocześnie trudnym do zmierzenia. W przypadku planów na najbliższy okres, zarządzający logistyką będą wdrażali R-strategię związaną z utylizacją (*Recover*) oraz z ponownym przetwarzaniem odpadów w produkty o tej samej funkcjonalności, ale o niższej jakości względem produktów pierwotnych (*Remanufacture*). W terminie do trzech lat zaplanowano wykorzystanie odpadów w celu naprawiania produktów w celu ich ponownego użycia (*Repair*) oraz zachęcanie klientów do zwiększania intensywności wykorzystania zakupionych produktów (bez potrzeby zakupu nowych) (*Rethink*) – jest to także R-strategia w pośredni sposób wpływająca na redukcję odpadów poprodukcyjnych. Szczegóły rozkładu odpowiedzi na temat gospodarowania odpadami poprodukcyjnymi przez zarządzających logistyką i łańcuchami dostaw przedstawia tabela 2.

Tabela 2. R-strategie stosowane i planowane do wdrożenia w obszarze gospodarki odpadami po produkcji (%)

Lp.	R-strategie związane z odpadami poprodukcyjnymi	Stosujemy od co najmniej 3 lat	Stosujemy od roku	Planujemy wprowadzić w ciągu najbliższego roku	Planujemy wprowadzić w ciągu najbliższych 3 lat
1	Utylizowanie, np. w celu pozyskania energii. ***Recover***	**17,44**	11,96	**16,07**	12,00
2	Ponowne przetwarzanie w nowe produkty o innej funkcjonalności. ***Recycle***	10,63	**13,04**	10,71	12,00
3	Ponowne przetwarzanie w nowe produkty o tej samej funkcjonalności. ***Repurpose***	9,54	11,96	12,50	8,00
4	Ponowne przetwarzanie w produkty o tej samej funkcjonalności, ale o niższej jakości. ***Remanufacture***	7,36	10,87	**14,29**	8,00
5	Ponowne przetwarzanie w produkty o tej samej jakości i funkcjonalności. ***Refurbish***	9,54	9,78	8,93	12,00
6	Naprawianie w celu ich ponownego użycia w ramach produktów o tej samej funkcjonalności. ***Repair***	6,81	9,78	10,71	**20,00**
7	Dążenie do zwiększenia wydajności produkcji lub wzrostu konsumpcji przy jednoczesnym ograniczaniu wykorzystania zasobów niezbędnych do jego wytworzenia*. ***Reduce***	**18,53**	**13,04**	8,93	8,00
8	Zachęcanie naszych klientów do zwiększania intensywności wykorzystania zakupionych produktów (bez potrzeby zakupu nowych)*. ***Rethink***	9,81	8,70	7,14	**16,00**
9	Nasza oferta rozwija się poprzez dodawanie nowych funkcjonalności do produktów już dostępnych. Nie zwiększamy liczby oferowanych produktów*. ***Refuse***	10,35	10,87	10,71	4,00

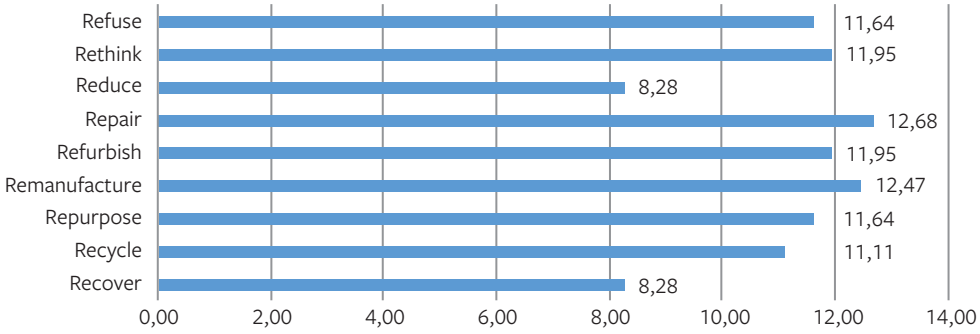
* W pytaniu odniesiono się także do pozostałych R-strategii współdecydujących o poziomie odpadów poprodukcyjnych.
Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań ankietowych.

Do stymulantów poprawiających wydajność gospodarowania odpadami o dużym lub kluczowym znaczeniu respondenci zaliczyli głównie: samodzielne projektowanie produktów i organizacja ponownego wykorzystania odpadów przez przedsiębiorstwo (37% odpowiedzi wskazujących ten czynnik jako o dużym i bardzo dużym

znaczeniu); organizacja ponownego wykorzystania odpadów przez wyspecjalizowane firmy zajmujące się np. utylizacją lub ponownym przetwarzaniem (40% odpowiedzi); dostęp pracowników do szkoleń (33%); skrócenie łańcucha dostaw (25%). Natomiast czynnikami ograniczającymi poprawę wydajności gospodarowania odpadami poprodukcyjnymi są według respondentów przede wszystkim: inflacja (36%); uregulowania formalno-prawne (25%) oraz brak kontrahentów po stronie dostawców dostarczających biodegradowalne surowce lub komponenty do produkcji naszych wyrobów (24%).

W ramach badania respondenci wskazywali także R-strategie, które nie są planowane do wdrożenia w przedsiębiorstwie w obszarze gospodarowania odpadami poprodukcyjnymi. Odsetek odpowiedzi nie różnił się znacząco pomiędzy poszczególnymi rozwiązaniami, które zostały przedstawione na rysunku 5. Najmniej ważna dla respondentów była R-strategia naprawiania.

Rysunek 5. R-strategie, które nie są stosowane i nie są planowane do wdrożenia w ramach gospodarki odpadami poprodukcyjnymi (%)



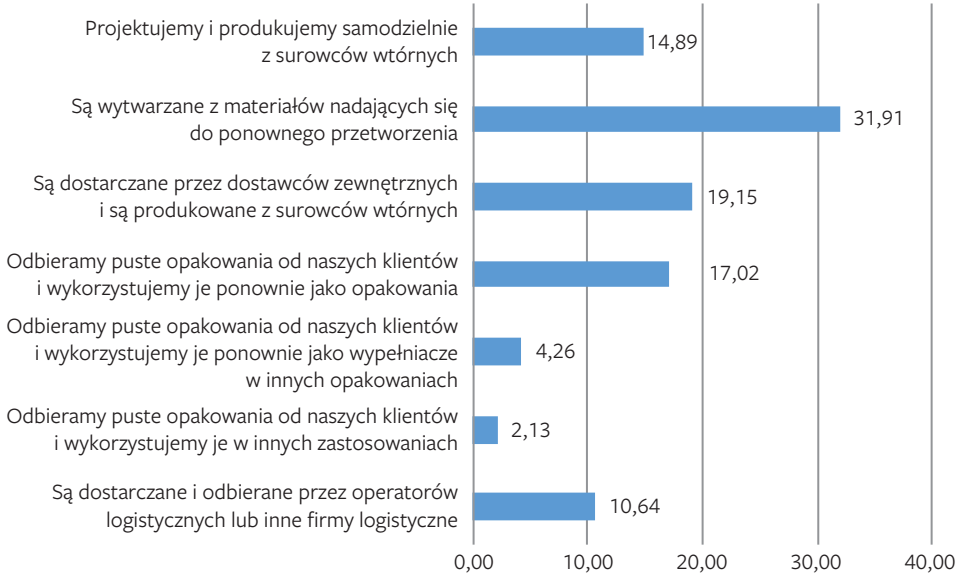
Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań ankietowych.

Respondenci poproszeni zostali także o odpowiedź na pytanie dotyczące tworzenia, rozwijania lub pozyskiwania technologii produkcyjno-przetwórczych w celu ponownego wykorzystania lub znaczącej redukcji odpadów. Niemal 60% udzielonych na to pytanie odpowiedzi wskazywało, że jest to rozwiązanie stosowane w przedsiębiorstwie od co najmniej 3 lat. Jednocześnie 30% odpowiedzi brzmiało: „Nie i nie planujemy wprowadzać tego rozwiązania".

W przypadku gospodarowania zwrotami opakowań „logistycznych" dominującym rozwiązaniem wskazanym przez respondentów jest wykorzystywanie opakowań wytwarzanych z materiałów nadających się do ponownego przetworzenia (32% wskazań). Drugą pod względem częstotliwości odpowiedź stanowiło stwierdzenie,

że opakowania zbiorcze są dostarczane przez dostawców zewnętrznych i są produkowane z surowców wtórnych (19% odpowiedzi). Szczegóły przedstawia rysunek 6.

Rysunek 6. Charakterystyka opakowań zbiorczych i dominujące działania dotyczące gospodarki opakowaniami zbiorczymi (%)



Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań ankietowych.

Działania realizowane najdłużej dotyczące gospodarki opakowaniami zbiorczymi dotyczą wykorzystywania opakowań, które są wytwarzane z materiałów nadających się do ponownego przetworzenia (niemal 21% odpowiedzi wskazujących stosowanie tego rozwiązania od co najmniej 3 lat), zbliżony odsetek odpowiedzi dotyczył stwierdzenia, że opakowania są dostarczane przez dostawców zewnętrznych i są produkowane z surowców wtórnych (19%). Jest to także rozwiązanie wskazywane jako planowane do wprowadzenia w ciągu najbliższego roku przez największy odsetek respondentów (27%). Gospodarka opakowaniami zbiorczymi nie leży zatem w kluczowym obszarze zainteresowania zarządzających logistyką przedsiębiorstw z sektora przetwórstwa przemysłowego. Sytuację tę podkreślają deklaracje o braku zainteresowania odbiorem pustych opakowania od klientów i ich ponownego wykorzystania np. jako wypełniacze w innych opakowaniach. Szczegóły odpowiedzi przedstawia tabela 3.

Tabela 3. Charakterystyka gospodarki opakowaniami zbiorczymi – działania stosowane i planowane do wdrożenia (%)

Lp.	Opakowania zbiorcze do produktów, które wytwarzamy...	Stosujemy od co najmniej 3 lat	Stosujemy od roku	Planujemy wprowadzić w ciągu najbliższego roku	Planujemy wprowadzić w ciągu najbliższych 3 lat	Nie i nie planujemy wprowadzać
1	produkujemy samodzielnie (lub dostosowujemy do potrzeb transportu względem wielkości zamówienia) z surowców wtórnych.	13,22	**19,23**	18,18	4,00	14,45
2	są wytwarzane z materiałów nadających się do ponownego przetworzenia.	**20,66**	15,38	0	8,00	10,40
3	są dostarczane przez dostawców zewnętrznych i są produkowane z surowców wtórnych.	19,01	11,54	**27,27**	8,00	10,40
4	odbieramy puste opakowania od naszych klientów i wykorzystujemy je ponownie jako opakowania.	13,22	15,38	9,09	4,00	15,61
5	odbieramy puste opakowania od naszych klientów i wykorzystujemy je ponownie jako wypełniacze w innych opakowaniach.	9,09	11,54	18,18	4,00	**18,50**
6	odbieramy puste opakowania od naszych klientów i wykorzystujemy je w innych zastosowaniach.	9,09	11,54	18,18	4,00	**18,50**
7	są dostarczane i odbierane przez operatorów logistycznych lub inne firmy logistyczne.	15,70	15,38	9,09	**16,00**	12,14

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań ankietowych.

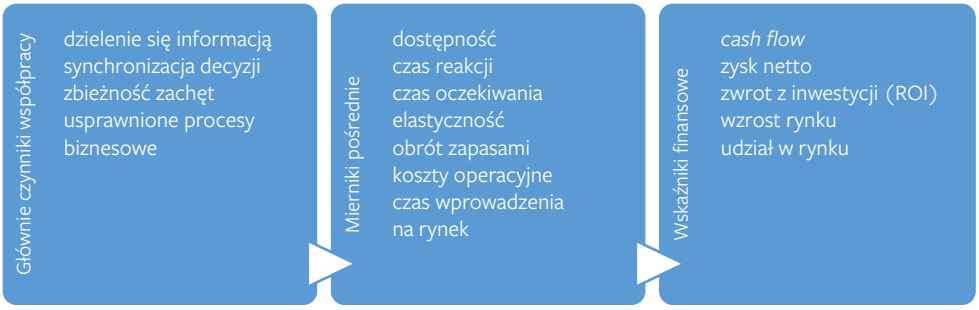
1.4. Współpraca i mierniki efektywności w łańcuchach dostaw o obiegu zamkniętym

Podstawowym miernikiem efektywności zintegrowanego łańcucha dostaw jest poziom satysfakcji klienta końcowego, ważne jednak, aby koszt realizacji wysokiego poziomu satysfakcji był optymalizowany. Chodzi tu o całkowity koszt produktu w miejscu jego konsumpcji. Na ten koszt składa się kompilacja jakości wykonywa-

nych czynności w obrębie procesów odpowiedzialnych za dostawę towarów przepływających wzdłuż całego łańcucha dostaw. Mowa tu o koszcie wartości dodanej, a raczej kosztach kształtujących wielkość owej wartości. Jest ona tworzona przede wszystkim w obrębie zaopatrzenia, produkcji, magazynowania, zarządzania zapasami i transportu.

Kluczowym elementem poprawy konkurencyjności łańcuchów dostaw jest omówiona w rozdziale pierwszym pierwszej części pracy współpraca między partnerami nastawiona na realizację wspólnych celów rynkowych. Umożliwia ona realizację wspólnych strategii, w tym R-strategii łańcucha dostaw. W efekcie tworzona jest wartość odzwierciedlana w szeregu mierników i wskaźników finansowych. Model ścieżki tworzenia wartości poprzez współpracę i relacje partnerskie w łańcuchu dostaw przedstawia rysunek 7.

Rysunek 7. Model ścieżki tworzenia wartości: od czynników współpracy do wskaźników finansowych



Źródło: T.M. Simatupang, R. Sridharan, *Supply Chain Discontent*, "Business Process Management Journal" 2005, vol. 11, no. 4, s. 358.

Relacje partnerskie są jednak oparte o szereg elementów, których dopełnienie pozwala na osiągnięcie sukcesu w tego rodzaju współpracy. Należą do nich przede wszystkim zaufanie i komunikacja, czyli wymiana wiedzy. Elementy te powinny mieć charakter ciągły i pogłębiający się, aby gwarantować długoterminowe rezultaty satysfakcjonujące obydwie zaangażowane strony. W centrum takiej współpracy leży dzielenie się informacją, jako że koszty związane z brakiem właściwej informacji, koniecznością przemieszczania produktów oraz magazynowania, są dużo wyższe niż koszty wymiany informacji. W efekcie budowania relacji partnerskich występuje zjawisko substytucji fizycznego przemieszczania produktów i wymiany informacji. Daje to możliwość monitorowania przepływu produktów, pozwalając na szybszą reakcję na zmiany w popycie i podaży. Drugim obszarem jest zbieżność zachęt, która eliminuje następstwa konfliktu interesów i przedkładanie korzyści własnej

organizacji nad korzyści dla całego łańcucha[35]. Trzecim elementem wynikającym z korzyści zacieśniania współpracy i integracji jest synchronizacja decyzji umożliwiająca podejmowanie zbieżnych decyzji różnych partnerów na różnych poziomach zarządzania[36]. Koncentruje się ona na stałym zapewnianiu zbieżności celów strategicznych, wewnętrznych procedur i mierników pomiędzy poszczególnymi ogniwami łańcucha dostaw. Sposobem oceny tego podejścia może być, uwzględniona w modelu SCOR, szybkość reakcji na zamówienia klienta lub też efektywność podejmowanych wspólnie decyzji wpływająca na zyskowność całego łańcucha dostaw.

Do mierzenia i oceny efektywności zintegrowanego łańcucha dostaw można zastosować łącznie mierniki jakościowe i ilościowe badające czynności logistyczne i całe procesy. Wśród najważniejszych, czy też najczęściej stosowanych, mierników efektywności przepływu towarów wzdłuż łańcucha dostaw wymienić można m.in. czas cyklu realizacji zamówienia, poziom obsługi klienta, czas trwania transportu, terminowość dostaw, pewność dostaw, poziom zapasów[37].

Poza efektywnością współpraca w łańcuchu dostaw może być analizowana według kryterium stabilności (mierzonej długością trwania współpracy i brakiem zmian w strukturze własnościowej wspólnego procesu) i subiektywnej ocena sukcesu (dokonywanej przez obydwu partnerów jednocześnie, bądź oddzielnie)[38].

Jak zaznaczono w pierwszej części pracy, pomiar wydajności GOZ różni się w zależności od rodzaju produktu, lokalizacji, czy też branży. W zasadzie każdy z interesariuszy GOZ ma możliwość przyjęcia swojej miary względem podejmowanych działań. W efekcie opcje pomiaru mogą pochodzić od dostawców, dystrybutorów, lokalnych społeczności, organów regulacyjnych, a nawet firm inwestycyjnych. W rozwój metryk zaangażowani są również naukowcy diagnozujący problem w zróżnicowanych kontekstach. Niemniej jednak perspektywa łańcucha dostaw daje holistyczne, systemowe spojrzenie na działania podejmowane przez różne ogniwa zaangażowane w przepływy ładunków (także w sferze usług), prowadząc do powstawania inicjatyw na rzecz wspierania wdrażania rozwiązań zbieżnych z zasadami GOZ. Przykładowe programy i miary cyrkularności łańcuchów dostaw w nich przyjęte przedstawia tabela 4.

---

35 T.M. Simatupang, A.C. Wright, R. Sridharan, *The Knowledge of Coordination for Supply Chain Integration*, "Business Process Management Journal" 2002, vol. 8, no. 3, s. 297–298.

36 T.M. Simatupang, R. Sridharan, *A Benchmarking Scheme for Supply Chain Collaboration*, "Benchmarking An International Journal" 2004, 11(1), s. 24. DOI: 10.1108/14635770410520285.

37 Więcej na temat w: M. Ciesielski (red.), *Instrumenty zarządzania łańcuchami dostaw*, PWE 2009, s. 128–133.

38 A. Sulejewicz, *Partnerstwo strategiczne: modelowanie współpracy przedsiębiorstw*, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 1997, s. 178.

Tabela 4. Przykładowe programy i miary cyrkularności łańcuchów dostaw

Lp.	Program	Kluczowe obszary programu i przykładowe miary cyrkularności
1	Mapa drogowa *Circular Electronics* – partnerstwo Circular Electronics	▪ koncentracja na długoterminowości, ponownym użyciu i recyklingu, ▪ mapa drogowa i wyniki wydajności w trakcie procesu zarządzania, ▪ mierzenie postępów za pomocą wskaźników wydajności,
2	Zielony ład dotyczący zamówień o obiegu zamkniętym – Holandia	▪ zmniejszenie całkowitej ilości materiałów/zasobów, ▪ zmniejszenie wykorzystania nieodnawialnych surowców, ▪ wydłużanie użytkowania i cyklu życia produktów, ▪ optymalizacja potencjalnego recyklingu produktów i materiałów,
3	*Global Reporting Initiative* (GRI) 306: Odpady 2020	▪ odsetek nowych dostawców, którzy zostali skontrolowani pod kątem kryteriów środowiskowych, ▪ liczba dostawców ocenionych pod kątem wpływu na środowisko, ▪ znaczący rzeczywisty i potencjalny negatywny wpływ na środowisko zidentyfikowany w łańcuchu dostaw,
4	*Circularity Gap Reporting Initiative* (CGRI) – *Circle Economy*	▪ wydobyte zasoby, ▪ etap wycofania z eksploatacji materiału wejściowego i wyjściowego, ▪ odpady: odpady górnicze, odpady nierejestrowane i odpady składowane, ▪ cykle zasobów, ▪ ślad konsumpcji,
5	*Circular Transition Indicators – World Business Council for Sustainability Development*	▪ zorganizowane według „zamknięcia", „optymalizacji", „wartości" i „wpływu" pętli, ▪ wpływ pozyskiwania surowców z recyklingu na redukcję emisji gazów cieplarnianych, ▪ strategie przedłużenia cyklu życia produktu.

Źródło: J. Sarkis, Ch. Bai, Q. Zhu, *Use Metrics to Make Your Supply Chain Circular*, Network of Business Susainability, 24.10.2022, https://nbs.net/use-metrics-to-make-your-supply-chain-circular/ (dostęp 25.10.2022).

Wymienione przykładowe programy stanowią interesujące repozytorium wiedzy na temat mierników możliwych do stosowania w ŁDOZ. Warto zauważyć, jak ważna jest przyjęta perspektywa pomiaru oceniania zmian w ujęciu całego łańcucha dostaw, a nie jedynie przedsiębiorstwa, a także zróżnicowanie pomiaru pod względem rodzaju zasobów, dostawców czy emisyjności.

1.5. Podsumowanie

Rozważając możliwości migracji w kierunku ŁDOZ, warto pamiętać o potrzebie dwustronności organizacji obiegów (biologicznego i technicznego) w ramach tej transformacji, tj. faktu, że wcześniejsze zaprojektowanie towaru (jego skład

fizyczno-chemiczny) predefiniuje wachlarz możliwości domykania cykli w obiegach technicznych, czyli zakres jego odwrotnej wielokanałowości. To rozwiązanie ma bowiem charakter systemowy i w holistycznym ujęciu powinno wychodzić naprzeciw eliminacji odpadów z systemu gospodarczego będącego tu w szczególnej relacji z systemem ekologicznym i społecznym.

Powyższa sytuacja zwraca uwagę na niekompletność i słabość jednostronnych rozwiązań, w których istnieje np. gotowość do domykania cykli o obiegu technicznym, ale towar nie jest do tego dostosowany (jego projektowanie nie uwzględniało konieczności eliminacji odpadów po jego pierwotnej konsumpcji) lub odwrotnie – towar spełnia warunki dla ponownego wykorzystania, ale brakuje rozwiązań (procesów, partnerów, uzasadnienia ekonomicznego), które stymulowałyby działania przedsiębiorstwa na rzecz transformacji w kierunku GOZ. Tym samym transformacja modeli biznesu łańcucha dostaw w kierunku GOZ odbywa się w relacji do podatności (transportowej, a raczej logistycznej) ładunków, która określa ich odporność na warunki i skutki przetwarzania, przemieszczania, przeładunku czy też przechowywania wynikające z fizycznych, chemicznych oraz biologicznych cech i właściwości, które to owe ładunki posiadają.

W innej perspektywie można wskazać, że ŁDOZ polega na stosowaniu materiałów, które są całkowicie odnawialne, nadające się do recyklingu lub biodegradowalne. Mogą być one wykorzystane w następujących po sobie cyklach życia, aby zredukować koszty oraz zwiększyć przewidywalność i kontrolę. Takie ujęcie mówi o stymulowaniu rozwoju ŁDOZ przez GOZ, a w zasadzie przez projektowanie propozycji wartości opartej na recyklingu lub biodegradowalności[39].

Poza organizacją przepływów w ramach realizowanych przez przedsiębiorstwa R-strategii, zarządzający logistyką i łańcuchami dostaw w firmach deklarujących realizację działań związanych z ponownym wykorzystaniem lub przetworzeniem produktów w celu eliminacji ich odpadów są odpowiedzialni za gospodarowanie odpadami poprodukcyjnymi, zwrotami produktów do ich ponownego zagospodarowania oraz opakowaniami „logistycznymi" (zbiorczymi). Jak się okazuje, także w obszarze gospodarki odpadami czy też opakowaniami dominują rozwiązania plasujące przedsiębiorstwa na początku ścieżki transformacji w kierunku GOZ. Niewątpliwie spojrzenie przez pryzmat zarządzania łańcuchem dostaw będzie stanowiło dodatkowe, znaczące wyzwanie dla zarządzających w otoczeniu nakierowanym na wdrażanie zasad zgodnych z GOZ w najbliższej przyszłości.

---

39 M. Karwacka, P. Łub (red.), *W kierunku gospodarki obiegu zamkniętego. Wyzwania i szanse*, Koalicja na rzecz Gospodarki Obiegu Zamkniętego Reconomy, Warszawa 2016, s. 7.

2

REZYLIENTNOŚĆ ŁAŃCUCHÓW DOSTAW O OBIEGU ZAMKNIĘTYM

Izabela Dembińska, Łukasz Marzantowicz

2.1. Wprowadzenie

Przedmiotem badań w tym rozdziale jest rezylientność łańcuchów dostaw o obiegu zamkniętym. Za główny cel przyjęto delimitację znaczenia tego pojęcia z perspektywy możliwości zamykania cyklu obiegu w łańcuchu dostaw. Konstrukt rozdziału obejmuje dwie części: teoretyczną i empiryczną. W części teoretycznej znajdują się rozważania na temat rezylientności rozumianej w kontekście trzech pojęć: elastyczność, adaptacyjność i odporność, najpierw ukazanej w ogólnym ujęciu, następnie w odniesieniu do łańcuchów dostaw. W części empirycznej przedstawiono wyniki badań na temat funkcjonowania ŁDOZ. Poddano je analizie z perspektywy rezylientności.

2.2. Zachowanie rezylientne jako synergia elastyczności, adaptacyjności i odporności

Pojęcie rezylientności jest wykorzystywane w różnych dyscyplinach nauki, w tym coraz powszechniej również w naukach o zarządzaniu. Jego współczesne rozumienie ma swoje korzenie przede wszystkim w psychologii, w zagadnieniach dotyczących odporności i adaptacji psychicznej[40], a więc w zagadnieniach, które mówią o pewnej zdolności do utrzymywania kontroli w dążeniu do stanu równowagi

40 S. Tisseron, *La Résilience*. PUF, Paris 2007.

i stabilności[41]. Niemniej ważnej inspiracji dostarczyła również ekologia[42]. Twórca tak zwanej rezyliencji ekologicznej, C.S. Holling, w 1973 roku zakwestionował ortodoksyjne postrzeganie równowagi, polegającej na bezwzględnej stabilności systemu w sytuacji kryzysowej, twierdząc, że w wyniku ciągłych albo incydentalnych zakłóceń system może utracić równowagę, jednakże nadal może posiadać zdolność utrzymywania swoich podstawowych atrybutów i funkcjonalności[43]. Tę właśnie właściwość C.S. Holling określił mianem rezyliencji.

W naukach o zarządzaniu rezylientność pojawiła się głównie w kontekście zarządzania kryzysowego. W ogólnym ujęciu poszukiwano bowiem recepty na odporność organizacji (systemu) względem nieprzewidzianych czy nieznanych sytuacji, swoistego remedium na sytuacje, kiedy znane sposoby percepcji zaczęły zawodzić w obliczu kryzysów wymykających się poza ramy znanych paradygmatów zarządzania, przewidywalnych determinant i wyuczonych schematów zachowań decyzyjnych. Tym samym myślenie rezylientne stało się w zarządzaniu elementem bezpieczeństwa.

Rezyliencja odnoszona do stanu bezpieczeństwa obejmuje także zagadnienia związane z problematyką zarządzania ryzykiem. Ryzyko oraz rezyliencja mają wiele punktów wspólnych. Rezyliencja, podobnie jak ryzyko, nie interpretuje zagrożenia w kategoriach wróg – przyjaciel, ale koncentruje się na wyzwaniach dla bezpieczeństwa, które mają charakter rozproszony, hybrydowy, usieciowiony, niepewny i przez to wymagający ciągłej analizy i zarządzania. Takie spojrzenie na relacje występujące między ryzykiem a rezyliencją w podejściu do bezpieczeństwa ukazuje je w aspekcie funkcji predykcji potencjalnych zagrożeń, czyli kształtując politykę bezpieczeństwa w oparciu o antycypację i łagodzenie skutków kryzysów. Jednocześnie zauważyć należy, że rezyliencja nie tylko uznaje niepewność, złożoność i wysoką dynamikę środowiska bezpieczeństwa, lecz poszerza swoją perspektywę, ujmując nadchodzące katastrofy jako coś, czego nie sposób kontrolować. W ten sposób rezyliencja burzy przyjęty i oczywisty sposób myślenia o środowisku bezpieczeństwa, a mianowicie: prawdopodobieństwo pojawienia się kolejnych fal kryzysów czy zakłóceń staje się niemożliwe do zmierzenia i obliczenia, co sugeruje uznanie niepewności i nieuchronności nadchodzących wydarzeń, a poprzez to zaakcepto-

---

41 J.H. Block, J. Block, *The Role of Ego-control and Ego-resiliency in the Organization of Behavior*, w: *Development of Cognition, Affect, and Social Relations*, W.A. Collins (red.), "Minnesota Symposia on Child Psychology" 1980, vol. 13, s. 39–101; B. Lucini, *What Is Resilience? The State of the Art*, w: *Disaster Resilience from a Sociological Perspective. Humanitarian Solutions in the 21st Century*, Springer, Cham 2014. DOI: 10.1007/978-3-319-04738-6_3 (dostęp: 4.10.2022).

42 M. Stępka, *Rezyliencja jako paradygmat bezpieczeństwa w czasach przewlekłych kryzysów*, „Przegląd Politologiczny" 2021, nr 2, s. 105.

43 C.S. Holling, *Resilience and Stability of Ecological Systems*, "Annual Review of Ecology and Systematics" 1973, vol. 4, nr 1. Za: M. Stępka, op. cit., s. 105.

wanie przekonania, że przyszłością można w pełni zarządzać, a kryzysom można całkowicie zapobiec[44].

Jak można zauważyć, odniesieniami rezyliencji są niepewność i nieprzewidywalność. Pozornie pojęcia te mogą charakteryzować się podobnymi cechami, zwłaszcza gdy ich podobieństwa rozpatruje się w kontekście skutków i następstw. Jakkolwiek, cechujący je pewien poziom niewiedzy implikuje komparatywne, a nie alternatywne spojrzenia na semantykę tych pojęć. Oznacza to, że pomocny jest w tym zakresie sposób, umożliwiający identyfikację, ale też i podział kluczowych cech odróżniających oraz relacji prakseologicznych zachodzących między pojęciami niepewności i nieprzewidywalności. Podstawową cechą niepewności jest brak możliwości przewidywania skutków i następstw zdarzeń. Jest więc pewność, co do wystąpienia samego zdarzenia, ale zbiór skutków nacechowany jest ograniczoną możliwością prognozowania i szacowania ewentualnych następstw. Ale, jeśli przyjąć założenie, że w warunkach niepewności, gdy może powstać wiele wyników decyzyjnych, należy wybrać tę najbardziej prawdopodobną, to i tak nie ma pewności osiągnięcia stanu całkowitej pewności. Wiedząc, że probabilizm (prawdopodobieństwo matematyczne) dotyczy zdarzeń powtarzalnych, źródłem niepewności nie może być wyłącznie losowość zdarzeń. Sytuacje, zdarzenia, a w szczególności zmiany (incydentalność, zmienność, przygodność), należałoby zatem określać z punktu widzenia ich wystąpienia bądź braku wystąpienia, a w związku z tym, uznając powyższą zmienność, można dokonywać oceny, czy sytuacja (zdarzenie) jest przewidywalna lub nieprzewidywalna[45]. Natomiast pojęcie nieprzewidywalności dobrze definiują jej źródła, takie choćby jak[46]:

- niewiedza (niewystarczająca ilość informacji i/lub danych),
- rzadkość, incydentalność czy przypadkowość zjawisk, niewykonalność techniczna,
- zjawiska naturalne mające wpływ na nieprzewidywalność zmian,
- nieracjonalność,
- nieprzewidywalność deterministyczna stanu układu.

Nieprzewidywalność można zatem rozumieć w aspekcie zdarzeń endo- lub egzogenicznych lub skutkującej nimi zmiany w zaplanowanym przebiegu procesu, która nastąpiła wskutek powyższych przyczyn, dla której nie można przeprowadzić antycypacyjnej prognozy wystąpienia, ani wskazać na możliwość wystąpienia

---

44 M. Stępka, op. cit., s. 108–110.

45 M. Jedliński, Ł. Marzantowicz, *Wpływ niepewności i nieprzewidywalności na procesy logistyczne*, „Problemy Transportu i Logistyki" 2017, nr 37, s. 173–176; A. Barczak, I. Dembińska, Ł. Marzantowicz, K. Nowicka, K. Szopik-Depczyńska, T. Rostkowski, *The Impact of Unpredictable Factors on the Uncertainty's Structure in the Management of Logistics Processes*, „European Research Studies Journal" 2020, vol. XXIII, special iss. 1, s. 186–190.

46 J. Kozielecki, *Transgresja i kultura*, wyd. 2., Wydawnictwo Akademickie Żak, Warszawa 2002.

określonego zespołu skutków i z reguły nie ma możliwości określenia kierunku i siły wpływu na zaplanowany do realizacji proces logistyczny[47]. Wnioskować zatem można, że zakres znaczeniowy pojęć niepewności i nieprzewidywalności jest różny. Dyferencjał semantyczny na podstawie poszczególnych aspektów postrzegania niepewności i nieprzewidywalności zaprezentowano w tabeli 5.

W zarządzaniu zmianami również zaczęto zwracać uwagę na takie zdolności systemu jak elastyczność czy adaptacyjność jako sposoby na szybkie i możliwie jak najlepsze dopasowanie się do nowej sytuacji, traktując zmianę jako czynnik destrukcyjny panującego porządku czy przyjętego schematu zachowania lub struktury[48]. Przy czym, jak zauważają Ł. Marzantowicz i M. Jedliński[49], współczesne przedsiębiorstwa, jak również tworzone przez nie struktury wyższego rzędu, tj. łańcuchy dostaw lub sieci dostaw, stoją przed wyraźnym antagonistycznym paradoksem zarządzania „stałości-zmienności". Z jednej strony dąży się do zapewnienia stabilności działania (a przez to większej jego przewidywalności), lecz z drugiej strony wskazana jest zmienność, objawiająca się np. aktywnością innowacyjną, jako asumpt do rozwoju czy nawet ewolucji. W dzisiejszych turbulentnych czasach kluczowym wyzwaniem dla wielu firm jest osiągnięcie skutecznego dopasowania własnej zmienności do zmienności otoczenia, by „wyeliminować nieakceptowalny poziom zróżnicowania zmienności", który staje się wówczas realnym zagrożeniem dla przedsiębiorstwa. A więc osiągnięcie stanu bezpieczeństwa i stabilizacji.

M. Stępka[50] zauważa, że w literaturze wskazuje się na dwa główne, choć nie jedyne, typy rezyliencji. Z jednej strony, przedstawia się rezyliencję, która jest oparta na absorbowaniu szoków i względnie szybkim „odbiciu się" systemu do jego oryginalnego kształtu (pierwotnego stanu), przy jak najszybszym odbudowaniu kluczowych zasobów i przywróceniu funkcjonalności. Jest to tak zwany „model odbicia". Z drugiej strony, rezyliencja definiowana jest w znaczeniu długotrwałego procesu adaptacyjnego, w którym system radzi sobie z kryzysowymi sytuacjami, ucząc się na swoich błędach i dostosowując części składowe do nowej rzeczywistości. Jest to tak zwany model adaptacyjny.

---

47 M. Jedliński, Ł. Marzantowicz, op. cit., s. 176; A. Barczak, I. Dembińska, Ł. Marzantowicz, K. Nowicka, K. Szopik-Depczyńska, T. Rostkowski, op. cit., s. 189.

48 Ł. Marzantowicz, I. Dembińska, *Introduction to the Research of Uncertainty in Logistics Management*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, volume 568, Annual Session of Scientific Papers "IMT ORADEA 2019" 30–31 May 2019, Oradea, Felix SPA, Romania, https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/568/1/012044/meta (dostęp: 4.10.2022).

49 M. Jedliński, Ł. Marzantowicz, op. cit., s. 172.

50 M. Stępka, op. cit., s. 110–112.

Tabela 5. Komparastyka zakresów znaczeniowych niepewności i nieprzewidywalności

Obszar semantycznych różnic	Niepewność	Nieprzewidywalność
Aspekt zaistnienia zdarzenia lub zmiany	Zdarzenie lub zmiana występuje. Może zachodzić mierzalna pewność co do wystąpienia zdarzenia.	Zdarzenie jest incydentalne, nie ma możliwości przewidzenia wystąpienia zjawiska.
Aspekt skutków i następstw	Występuje zbiór skutków, częściowo mierzalny. Rozkład prognozy jest znany, jednak charakteryzuje się dużą ilością wynikowych wartości. Oszacowanie skutków (wg największej wartości) nie zawsze jest możliwe; niepewność jako niemożliwość przewidzenia istotnych następstw.	Nieprzewidywalne zjawisko (sytuacja, zmiana, zdarzenie) generuje nieprzewidywalne skutki i w konsekwencji następstwa.
Pomiar	Możliwy przy wykorzystaniu metod statystycznych, jednak w większości zdarzeń ich skutki są niekwantyfikowalne. W większości koncepcje i metody umożliwiające jakkolwiek pomiar niepewności odnoszą się do określenia stopnia niepewności, a nie jej wystąpienia bądź nie.	W związku z niewiedzą o możliwości wystąpienia zjawiska nieprzewidywalność charakteryzuje się pełnym brakiem kwantyfikacji. Pomiar jest niemożliwy ze względu na brak możliwości prognozowania zdarzenia i skutków zdarzenia.
Decyzyjność i strategia	Strategiczne decyzje będą zależały od możliwości przewidzenia skutków zdarzenia oraz od stopnia wpływu na proces bądź zdarzenie.	Nie ma możliwości podejmowania decyzji strategicznych. Zdarzenie należy do grupy pozaplanowych aspektów strategicznego zarządzania (ewentualny kryzys).
Podatność na zmiany	Można określić stopień wpływu niepewności na zmiany w procesie. Występuje możliwość zarządzania zmianą, skutkami i niwelacji skutków.	Nie występuje. Na zdarzenie reaguje się w czasie rzeczywistym. Występuje tylko możliwość niwelacji skutków.
Wydajność procesów	Bezpośredni wpływ na efektywność procesu, jednak istnieje możliwość wariantowości zmiany procesu.	Wpływa negatywnie na efektywność procesu, jest elementem hamującym.
Poziom elastyczności	Umożliwia elastyczność w podejściu do zarządzania zmianą i zaistniałym zdarzeniem. Daje możliwość ograniczania negatywnych skutków.	Wpływa na obniżenie elastyczności w zarządzaniu zmianą i skutkami. Uniemożliwia planowanie niwelacji skutków i właściwą reakcję na zmiany. Jest czynnikiem destabilizującym proces.

Źródło: M. Jedliński, Ł. Marzantowicz, *Wpływ niepewności i nieprzewidywalności na procesy logistyczne*, „Problemy Transportu i Logistyki" 2017, nr 37, s. 176; Ł. Marzantowicz, *Niepewność i nieprzewidywalność w łańcuchu dostaw – rozważania teoretyczne*, „Nauki o Zarządzaniu" 2017, nr 31, s. 62–70.

Dotychczasowe rozważania pozwalają interpretować rezylientność w kategorii elastyczności, adaptacyjności i odporności. Elastyczność, adaptacyjność i odporność można rozpatrywać w kategorii cykli. Wówczas, uwzględniając występowanie różnych modeli panarchicznych, tj. modeli obrazujących sposób funkcjonowania

systemów, w tym ich przemiany transformacyjne bądź ewolucyjne, należy mieć na względzie, że dynamiczność cykli może się charakteryzować różną skalą. Pojęć tych nie można traktować jak synonimy. Natomiast można przyjąć, że rezylientność może być interpretowana w granicach pola kontekstowego każdego z tych pojęć traktowanych osobno, jak i rozpatrywanych łącznie, w zależności od panującej sytuacji, czyli zależnie od tego, jak ukonstytuuje się zbiór determinant danej sytuacji. A ten zbiór determinant jest warunkowany tym, czy występuje zmienność, arytmiczność, ryzyko, niepewność, nieprzewidywalność, katastrofa itp. Stanem pożądanym rezylientności jest bezpieczeństwo, stabilizacja i funkcjonalność.

2.3. Łańcuch dostaw jako płaszczyzna odniesienia rezylientnosci

Jedną z najważniejszych zdolności współczesnych łańcuchów dostaw jest właściwa obserwacja otoczenia oraz szybka i trafna odpowiedź na pojawiające się zmiany i różne wyzwania. Umiejętność oraz stworzenie możliwości reakcji wskazuje, że łańcuch dostaw jest elastyczny i potrafi się adaptować do nowych warunków rzeczywistości. Elastyczność wskazuje nie tylko na otwartość na zmiany, ale również na umiejętność zarządzania nimi, co przejawia się przede wszystkim skutecznością i efektywnością reakcji, ale też jej szybkością. Przy czym różnica między elastycznością a nieelastycznością polega na tym, że owa reakcja dokonuje się bez przerwania realizacji funkcjonalności łańcucha dostaw. Umiejętność zarządzania zmianami można interpretować w kategorii adaptacyjności. Łańcuch dostaw można nazwać adaptacyjnym, jeśli potrafi dostosować się do zmian w otoczeniu rynkowym i funkcjonowania w warunkach niepewności, czyli reakcja przejawia się określoną treścią[51]. A zatem współczesne elastyczne i adaptacyjne łańcuchy dostaw dysponują takimi cechami jak:

- zdolność do dostrzegania zmian w otoczeniu,
- zdolność do nadążania za zmianami w otoczeniu i rozwijania się w tempie co najmniej równym, a najlepiej szybszym niż konkurenci,
- zdolność do szybkiej, dostosowawczej zmiany struktur wewnątrz organizacji, w tym granic zewnętrznych systemu,
- rozwijanie partnerskich relacji pomiędzy ogniwami,
- włączanie klientów w system zarządzania,

---

51 D. Ivanov, B. Sokolov, J. Kaeschel, *A Multi-Structural Framework for Adaptive Supply Chain Planning and Operations Control with Structure Dynamics Considerations*, "European Journal of Operational Research" 2010, vol. 200, no. 2, s. 409–420.

- traktowanie informacji jako kluczowego czynnika konkurencyjności, a sprawnego i nowoczesnego systemu komunikacji jako elementarnego narzędzia,
- wysoki poziom uprawomocnienia pracowników, co przekłada się na sprawne, o krótkim przebiegu, procesy decyzyjne, realizowane w płaskich strukturach organizacyjnych,
- kształtowanie kompetencji własnych pracowników w kierunku stałego uczenia się,
- umiejętność utrzymywania stanu równowagi między stabilizacją, niezbędną do wysokiego poziomu jakości procesów, a destabilizacją, wynikającą z potrzeby częstych zmian.

Na elastyczność i adaptacyjność jako podstawowe wyznaczniki skutecznego i efektywnego funkcjonowania łańcuchów dostaw zwrócił uwagę na początku XXI w. H. Lee[52] w swojej koncepcji budowy „łańcucha według 3A" (tabela 6), twierdząc, że mądre firmy formułują łańcuchy dostaw w taki sposób, by były one dopasowane do natury rynków i produktów. A to oznacza, że łańcuchy dostaw muszą być elastyczne i adaptacyjne, ale też muszą być ustawione liniowo, czyli powinny uwzględniać interesy wszystkich ogniw w sieci dostaw tak, żeby realizując swoje cele, ogniwa jednocześnie poprawiały funkcjonowanie całego łańcucha dostaw. W koncepcji budowy „łańcucha według 3A" nietrudno doszukać się nawiązania do holizmu i podejścia systemowego, które stanowi klasyczną ramę dla zarządzania procesami i systemami logistycznymi. Wybija się również koncepcja dynamicznego ułożenia liniowego J. Gattorny[53], która dotyczy różnorodności konfigurowania łańcuchów dostaw jako kombinacji funkcji, procesów, relacji i ścieżek przepływu strumieni logistycznych. Logika dynamicznego ustawienia liniowego zakłada, iż przedsiębiorstwo powinno być skonfigurowane w łańcuchu dostaw w jednej linii razem ze swoimi klientami, gdyż tworzą się w ten sposób warunki dla zdolności do ujawniania interakcji między preferencjami klientów, a to pozwala na kreowanie właściwych strategii reakcji i skuteczną ich realizację.

Tabela 6. Cele i metody budowy „łańcucha według 3A"

Elastyczność	Adaptacyjność	Partnerstwo w interesach/ ustawienie liniowe
Cel: szybka reakcja na zmiany w popycie i podaży oraz likwidacja zakłóceń	**Cel:** projektowanie łańcucha dostaw do strukturalnych zmian na rynkach oraz modyfikacja odpowiednio do strategii, produktów i technologii	**Cel:** stworzenie motywacji do większej efektywności

52 H. Lee, *The Triple – A Supply Chain*, "Harvard Business Review" 2004, nr 10.
53 J. Gattorna. *Dynamiczne...*, s. 17.

Elastyczność	Adaptacyjność	Partnerstwo w interesach/ ustawienie liniowe
Metody: ▪ dbanie o przepływ informacji do dostawców i klientów oraz od nich, ▪ rozwijanie relacji współpracy z dostawcami, konkurencją, klientami, ▪ projektowanie produktów umożliwiających odroczenie w czasie etapów ich indywidualizowania, ▪ tworzenie buforów zapasów ważnych komponentów, ▪ posiadanie planów awaryjnych i zespołów zarządzania kryzysowego.	**Metody:** ▪ monitorowanie gospodarki na całym świecie, aby wykrywać nowe źródła zaopatrzenia i nowe rynki, ▪ wykorzystywanie pośredników do pozyskiwania nowych dostawców i nowej infrastruktury logistyki, ▪ ocena potrzeb finalnych konsumentów, a nie jedynie bezpośrednich klientów, ▪ tworzenie elastycznych projektów produktów, ▪ ustalenie etapów cyklów technologicznych i cyklów życia produktów wytwarzanych.	**Metody:** ▪ doprowadzanie do stałej wymiany informacji z dostawcami i klientami, ▪ jasno określone role, zadania i zakresy odpowiedzialności wszystkich ogniw oraz klientów, ▪ sprawiedliwie dzielenie się ryzykiem wynikającym z wprowadzania nowych inicjatyw.

Źródło: opracowanie na podstawie: M. Antonowicz, *Wyzwania logistyczne firm – elastyczne łańcuchy dostaw*, „Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe UE w Katowicach" 2016, nr 255, s. 221.

We wcześniejszych rozważaniach na temat istoty rezylientności, obok elastyczności i adaptacyjności, wskazano również na odporność. I jak wspomniano, odporność jest wiązana z ryzykiem w taki sposób, że nie można go całkowicie uniknąć czy całkowicie wyeliminować i nie da się go w pełni kontrolować[54]. Odporność łańcucha dostaw jest często uważana albo jako zdolność do odbicia się po zakłóceniu, albo jako zdolność systemu do powrotu do swojego pierwotnego lub optymalnego stanu po zakłóceniu lub też jako wewnętrzna zdolność organizacji (systemu) do utrzymania lub odzyskania dynamicznej stabilności stanu, który pozwala mu kontynuować działalność po poważnym kryzysie czy szoku. Odporność łańcucha dostaw nie oznacza już jedynie zdolności do zarządzania ryzykiem. Rozwój odporności zachęca bowiem do optymalizacji aktorów, relacji, działań i funkcji łańcucha dostaw, który tworzą połączone i współzależne ogniwa. Aby uzyskać tę zdolność, proponuje się szereg strategii integracji, rekonfiguracji zasobów, odnowienia i odtworzenia korzyści. Zauważyć trzeba, że odporność łańcucha dostaw nie oznacza zdolności jednorazowego pokonania trudności wynikających z zaistnienia nieprzewidzianych zjawisk i zdarzeń. Odporność należy rozumieć w kontekście ciągłego procesu przewidywa-

54 A. Świerczek, *Wykorzystanie podejścia multimetaforycznego w refleksji nad rzeczywistością organizacyjną rezylientnego łańcucha dostaw*, „Gospodarka Materiałowa i Logistyka" 2020, nr 3, s. 7–16; M. Christopher, H. Peck, *Building the resilient supply chain*, "International Journal of Logistics Management" 2004, vol. 15, no.2, s. 1–13; Y. Sheffi, J.B. Rice Jr., *A Supply Chain View of the Resilient Enterprise*, "MIT Sloan Management Review" 2005, vol. 47, no. 1, s. 41–48; H. Peck, *Reconciling supply chain vulnerability, risk and supply chain management*, "International Journal of Logistics: Research and Applications" 2006, vol. 9, no. 2, s. 127–142.

nia zagrożeń dla ciągłości działania czy utrzymania dotychczasowej zdolności działania. Oznacza to ciągłą poprawę procesów, procedur i struktur[55].

J. Fiksel wskazuje na cztery główne atrybuty, które sprzyjają odporności łańcucha dostaw. Są to[56]:

- wielostronność w zakresie form działania i zachowań;
- sprawność rozumiana jako zdolność osiągania wysokiej wydajności przy umiarkowanym zużyciu zasobów;
- zdolność dostosowania się definiowana jako elastyczność działania pod presją;
- spójność jako efekt relacji pomiędzy zmiennymi systemowymi a elementami systemu.

Podobnie jak w przypadku elastyczności i adaptacyjności, odporność łańcucha dostaw należy rozpatrywać, posiłkując się ogólną teorią systemów, w szczególności podejściem holistycznym. Odporność łańcucha dostaw jest budowana przez wszystkie jego elementy składowe, nie tylko przez odpowiednie zachowanie ogniw, ale też przez elementy infrastruktury i suprastruktury czy realizowane w jego granicach procesy. I pamiętać należy, że zgodnie z zasadami podejścia systemowego łańcuch dostaw tworzy taką kontaminację elementów, w której zmiana jednego pociąga za sobą zmianę całości. Nie można też zapominać o tym, że o sile, a więc w tym przypadku o odporności całego łańcucha dostaw, decyduje odporność najsłabszego ogniwa.

Rezylientny łańcuch dostaw cechuje się zdolnością reaktywnej odpowiedzi, adaptacji i odporności w zmiennych, nieprzewidywalnych i niepewnych uwarunkowaniach funkcjonowania. Rezyliencja jako cecha łańcucha dostaw winna być rozpatrywana przede wszystkim w aspekcie podejścia systemowego. Upatrując łańcuchy odstaw jako struktury złożone i dynamiczne, trzeba też odnosić jego rezyliencję do teorii złożoności systemów oraz teorii relacji. Im bardziej złożony system, tym trudniej utrzymać pożądany poziom rezyliencji.

Jeśli przyjąć za C.S. Hollingiem[57], że rezyliencja opiera się na trwałości relacji układów w określonym systemie, stanowi ona tym samym miarę zdolności tych układów do absorpcji zmian wpływających na jego stan oraz zmienne, które nim sterują. Z kolei nawiązując do kontekstu psychologicznego rezyliencji, mówiącego, że rezyliencja wynika z predyspozycji genetycznych i doświadczeń danej osoby i może być rozwijana, można twierdzić, iż rezyliencja łańcuchów dostaw jest wypadkową

---

55 M. Szymczak, *Elastyczność, wrażliwość i odporność jako cechy adaptacyjnych łańcuchów dostaw*, „Studia Oeconomica Posnaniensia" 2015, 3(6), s. 39–54.

56 J. Fiksel. *Designing Resilient, Sustainable Systems*, "Environmental Science & Technology" 2003, 37(23), s. 5330–5339.

57 C.S. Holling, op. cit., s. 27.

predyspozycji i doświadczeń jego ogniw i także jest podatna na rozwój, a właściwie na doskonalenie. Inspirując się dalej rozważaniami na temat rezylientności w psychologii i socjologii, perspektywę łańcucha dostaw można odwołać do tzw. rezyliencji wspólnotowej, rozumianej jako zdolność członków określonej wspólnoty do podejmowania przemyślanych i istotnych działań o charakterze zbiorowym, w celu złagodzenia niepożądanych skutków kryzysów i powrotu do takiego stanu, który pozwoli na bezpieczny i zrównoważony rozwój tejże wspólnoty[58]. I jednocześnie ponownie objawia się nawiązanie ujęcia rezyliencji łańcucha dostaw do podejścia systemowego i teorii relacji. Podejście wspólnotowe bowiem wychodzi z założenia, że całość jest czymś więcej niż sumą jej składników (synergia), wskazując, iż zbiór ogniw o wysokiej rezyliencji nie jest gwarancją ukonstytuowania się zbiorowości, która jest w stanie utrzymać swoje podstawowe struktury i funkcje w sytuacjach kryzysowych[59]. Dlatego wspólnotowe rozumienie rezyliencji łańcucha dostaw ujmuje ją w kategoriach ciągłego procesu pozwalającego na wspólne wzmacnianie się jego ogniw, poszczególnych podsystemów, jak również zdolności adaptacyjnych całej wspólnoty, która w rezultacie jest w stanie uzgodnić i wyegzekwować pozytywną trajektorię działań[60]. Jednocześnie wspólnotowy wymiar rezyliencji łańcucha dostaw stanowi potencjał badawczy dla rezyliencji jako paradygmatu bezpieczeństwa łańcucha odstaw.

2.4. Uwarunkowania rezylientności łańcuchów dostaw o obiegu zamkniętym – wyniki badań empirycznych

Poczynione rozważania teoretyczne stanowią kanwę dla rozważań empirycznych. Służą lepszemu rozumieniu istoty i celu podjętych badań empirycznych. Rezyliencja łańcuchów dostaw jest ukazana w uwarunkowaniach cyrkularnej gospodarki, w odniesieniu do łańcuchów dostaw o obiegu zamkniętym. Rozszerza to polemikę na temat rezylientności łańcuchów dostaw, precyzując zbiór determinant, w tym przypadku determinant cyrkularnych łańcuchów dostaw. Przedstawione wyniki badań zajmują szczególne miejsce w toczącej się dyskusji na temat możliwości zamykania cykli przepływów w łańcuchach dostaw z perspektywy rezylientności.

---

58 D. Paton, D. Johnston, *Disasters and Communities: Vulnerability, Resilience and Preparedness*, "Disaster Prevention and Management: An International Journal" 2001, vol. 10, nr 4.

59 F. Berkes, H. Ross, *Community Resilience: Toward an Integrated Approach*, "Society & Natural Resources" 2013, vol. 26, nr 1.

60 Na podstawie: F.H. Norris, S.P. Stevens, B. Pfefferbaum, K.F. Wyche, R.L. Pfefferbaum, *Community Resilience as a Metaphor, Theory, Set of Capacities, and Strategy for Disaster Readiness*, "American Journal of Community Psychology" 2008, vol. 41, nr 1–2.

Jakkolwiek, możliwości pełnej weryfikacji osiągniętych wyników w badanych przedsiębiorstwach są ograniczone tzw. presją społeczną, co może prowadzić do chęci wskazania korzystniejszej sytuacji niż rzeczywista w badanych przedsiębiorstwach. Pytanie w istocie o podejmowane działania w zakresie zrównoważonej optymalizacji przepływów w łańcuchach dostaw, mówiąc ogólnie zwrotów, należy do kategorii pytań o działania proekologiczne i prospołeczne, a te działania z kolei powinny dziś należeć do strategii przedsiębiorstwa w obszarze niwelacji negatywnego oddziaływania działalności na społeczeństwo i środowisko. W tym kontekście ważne staje się ustalenie stymulantów, ale także czynników ograniczających poprawę wydajności gospodarowania zwrotami. Współczesne postulaty realizacji zasad GOZ motywują badaczy do podjęcia działań sprawdzających, weryfikujących postęp w zakresie możliwości zamykania cykli obiegu. Wobec tego ważna staje się nie tylko kwestia samego zamykania cykli, lecz także kształtowania elastyczności, adaptacyjności i odporności łańcucha dostaw w turbulentnych, nieprzewidywalnych i niepewnych warunkach.

2.5. Stymulanty i destymulanty zamkniętego cyklu przepływu w łańcuchu dostaw – perspektywa zwrotów

Przeprowadzone w 2022 roku badanie zobligowało respondentów do wskazania stymulant poprawy wydajności. Należy mieć tu na uwadze fakt, że wskazanie jednoznaczności w zakresie wybrania tylko kilku stymulantów jest zależne od branży działalności przedsiębiorstwa. Stąd istotne staje się, wśród badanych logistyków, przeniesienie pytania o ww. stymulanty na poziom faktycznie zastosowanych metod i narzędzi w kierunku poprawy wydajności gospodarowania zwrotami. W tej części opracowania zwroty stanowią kluczowy element badania, ze względu na fakt zawracania towarów, opakowań i odpadów w łańcuchach dostaw. Zwrot zatem, traktowany jak zasobowy stymulator, może, w drodze zauważenia faktu zaistnienia zwrotu i jego przepływu w łańcuchu dostaw, dostarczyć odpowiedzi na pytanie o to, które czynniki będą najistotniejsze, a które będą miały mniejsze lub neutralne znaczenie. Jest to też informacja o podejmowanych przez przedsiębiorstwa w Polsce działań na rzecz optymalnego przepływu zwrotów, czy realizowana jest zasada *reduce, reuse, recycle*.

Uczestnikom badania zadano pytanie o wskazanie czynników stymulujących poprawę wydajności zagospodarowania zwrotów stosowane w przedsiębiorstwie. Wyniki tej części badania przedstawiono w tabeli 7.

Tabela 7. Czynniki stymulujące poprawę wydajności gospodarowania zwrotami

Lp.	Czynniki stymulujące	Zwroty				
		brak wpływu	mały	średni	duży	bardzo duży/ kluczowy
		N	N	N	N	N
		%	%	%	%	%
1	**Samodzielne** projektowanie i organizacja ponownego wykorzystania odpadów, zwrotów lub opakowań przez nasze przedsiębiorstwo	12	5	12	20	6
		21,82%	9,09%	21,82%	**36,36%**	10,91%
2	Organizacja ponownego wykorzystania odpadów, zwrotów lub opakowań przez **współpracującą firmę logistyczną**	17	7	21	8	2
		30,91%	12,73%	**38,18%**	14,55%	3,64%
3	Organizacja ponownego wykorzystania odpadów, zwrotów lub opakowań przez wyspecjalizowane **firmy zajmujące się np. utylizacją lub ponownym przetwarzaniem**	8	8	15	16	8
		14,55%	14,55%	27,27%	29,09%	14,55%
4	Wykorzystanie **platform cyfrowych** do **sprzedaży** odpadów, zwrotów lub opakowań	17	5	23	10	0
		30,91%	9,09%	**41,82%**	18,18%	0,00%
5	**Sprzedaż** i **przekazanie odpowiedzialności** (za dalsze wykorzystanie lub przetworzenie) do podmiotów zewnętrznych **na zasadach komercyjnych** (rynkowych)	16	3	22	12	2
		29,09%	5,45%	**40,00%**	21,82%	3,64%
6	Wdrożenie zasad dyrektywy o opakowaniach i gospodarce wykorzystanymi opakowaniami	15	9	24	6	1
		27,27%	16,36%	**43,64%**	10,91%	1,82%
7	Wykorzystanie technologii druku 3D	32	12	7	4	0
		58,18%	21,82%	12,73%	7,27%	0,00%
8.	Wykorzystanie technologii chmury obliczeniowej i zbudowanie systemu monitorowania przepływów w cyklach domkniętych w naszym łańcuchu dostaw	18	10	19	8	0
		32,73%	18,18%	**34,55%**	14,55%	0,00%
9	Wykorzystanie technologii Internetu Rzeczy do śledzenia przepływu ładunków w cyklach odwrotnych	19	13	17	6	0
		34,55%	23,64%	**30,91%**	10,91%	0,00%
10	Cykliczny audyt łańcucha dostaw	7	5	23	17	3
		12,73%	9,09%	**41,82%**	**30,91%**	5,45%
11	Zwiększenie zapasu bezpieczeństwa	7	8	21	17	2
		12,73%	14,55%	**38,18%**	**30,91%**	3,64%
12	Zwiększenie kapitału operacyjnego	7	7	26	13	2
		12,73%	12,73%	**47,27%**	23,64%	3,64%

Lp.	Czynniki stymulujące	Zwroty				
		brak wpływu	mały	średni	duży	bardzo duży/ kluczowy
		N	N	N	N	N
		%	%	%	%	%
13	Zdywersyfikowanie źródeł zaopatrzenia/ zakupów	8	8	25	12	2
		14,55%	14,55%	**45,45%**	21,82%	3,64%
14	Zdywersyfikowane kanały dystrybucji	9	10	25	10	1
		16,36%	18,18%	**45,45%**	18,18%	1,82%
15	Elastyczna produkcja / gotowa do szybkiego przezbrojenia	6	10	21	16	2
		10,91%	18,18%	38,18%	29,09%	3,64%
16	Dostęp pracowników do szkoleń	5	9	14	22	5
		9,09%	16,36%	25,45%	**40,00%**	9,09%
17	Umowy długoterminowe z partnerami biznesowymi	6	6	23	15	5
		10,91%	10,91%	**41,82%**	27,27%	9,09%
18	Wykorzystanie narzędzi zarządzania łańcuchem dostaw – FTL, *Airhunting*, *Cross-docking*	19	22	10	4	0
		34,55%	**40,00%**	18,18%	7,27%	0,00%
19	Projektowanie produktu i jego opakowania do prekonfigurowanego łańcucha dostaw	5	10	28	12	0
		9,09%	18,18%	**50,91%**	21,82%	0,00%
20	Skrócenie okresu planowania strategicznego (krótsza strategia)	7	10	25	12	1
		12,73%	18,18%	**45,45%**	21,82%	1,82%
21	Skrócenie łańcucha dostaw	6	11	16	21	1
		10,91%	20,00%	29,09%	**38,18%**	1,82%
22	Włączanie klienta w proces planowania procesów logistycznych	8	13	24	10	0
		14,55%	23,64%	**43,64%**	18,18%	0,00%
23	Omnichanneling	26	17	10	2	0
		47,27%	30,91%	18,18%	3,64%	0,00%
24	Korzystanie z nowoczesnych technologii komunikacji	16	10	25	4	0
		29,09%	18,18%	**45,45%**	7,27%	0,00%
25	Wykorzystanie innowacji cyfrowych: AI, IOT, *Big data*, *Cloud computing*	24	16	14	0	1
		43,64%	29,09%	25,45%	0,00%	1,82%
26	Automatyzacja procesów w łańcuchach dostaw	6	8	29	11	1
		10,91%	14,55%	**52,73%**	20,00%	1,82%

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań ankietowych.

Jak wynika z przedstawionego w tabeli rozkładu, zdecydowana większość czynników stymulujących jest, według uczestników badania, średnio istotna. To ciekawy wynik, biorąc pod uwagę fakt relatywnie wysokiej popularności wskazanych

czynników rozważanych partykularnie. Należy tu wskazać, że przedstawiony w tabeli rozkład nie dotyczy udziału poszczególnych cech w próbie badawczej, a jest jedynie rozkładem odpowiedzi dla danej grupy wag konkretnej cechy. To oznacza, że częstość występowania odpowiedzi pozwala jedynie na określenie stopnia istotności według respondentów. Ma to jednak przełożenie na możliwość wyznaczenia najważniejszych czynników – kluczowych zdaniem respondentów.

W ocenie popularności czynników stymulujących poprawę wydajności gospodarowania zwrotami za istotne uznano odpowiedzi o wartości 30% i większej. W tej grupie należy wyróżnić te czynniki, które uznano za bardzo ważne – o dużym wpływie oraz czynniki kluczowe. Do czynników o dużym wpływie na poprawę wydajności gospodarowania zwrotami należy zaliczyć:

- samodzielne projektowanie i organizacja ponownego wykorzystania odpadów, zwrotów lub opakowań przez nasze przedsiębiorstwo,
- cykliczny audyt łańcucha dostaw,
- zwiększenie zapasu bezpieczeństwa,
- dostęp pracowników do szkoleń,
- skrócenie łańcucha dostaw.

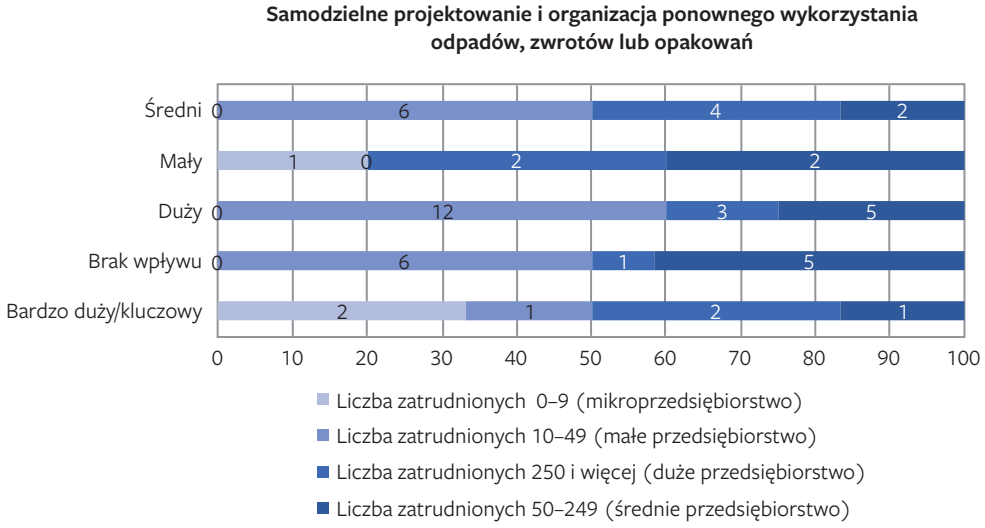
Żadne z powyższych jednocześnie nie zostało uznane za czynnik kluczowy poprawy wydajności gospodarowania zwrotami, jednak najwyższą ocenę w kategorii kluczowych czynników (spośród ważnych) otrzymała odpowiedź dotycząca samodzielnego projektowania i organizacji ponownego wykorzystania odpadów, zwrotów lub opakowań przez nasze przedsiębiorstwo. Fakt uznania powyższych czynników za ważne powinien zostać uznany za pozytywny w zakresie zbudowania możliwości zamykania cyklu w przepływie w łańcuchu dostaw, ale także wpływania na elastyczność łańcucha dostaw, mimo relatywnie niewielkiej ich liczby. Zwracając uwagę na jakość tych czynników, należy wskazać, że będą one znajdowały się w obszarze strategii przedsiębiorstwa. Wskazując przesłanki uzasadniające strategiczny wymiar przedstawionych czynników o dużym znaczeniu dla poprawy wydajności gospodarowania zwrotami, przedstawić należy następujące relacje:

- podjęcie działań z zakresu samodzielnego projektowania przepływu i zagospodarowania zwrotów, w tym odpadów, kształtuje system zwrotnego przepływu produktu z nastawieniem na optymalizację tej sfery z uwzględnieniem siły organizacyjnej i infrastruktury przedsiębiorstwa,
- audyty łańcucha dostaw należą do narzędzi zarządczych dostarczających bieżących informacji o tempie przepływu, ilości zasobu i zagrożeniach, co umożliwia podejmowanie decyzji strategicznych i operacyjnych w czasie rzeczywistym – skuteczność i sprawność zarządzania przepływem zwrotnym,

- zwiększenie poziomu zapasu reguluje poziom odporności łańcuchów dostaw i poziom zwrotności poprzez zabezpieczenie ewentualnych niedoborów,
- dostęp do szkoleń buduje świadomość w zakresie kompetencji w zarządzaniu oraz procesów optymalizacyjnych i marnotrawstwa,
- skrócenie łańcucha dostaw dywersyfikuje źródła zaopatrzenia i kanały dystrybucji powodując, że skraca się jednocześnie cykle przepływów, w tym przepływu zwrotnego.

Przyjmując powyższe, należy szczególnie wziąć pod uwagę najważniejszy czynnik stymulujący poprawę wydajności gospodarowania zwrotami w relacji do wielkości badanego przedsiębiorstwa. Okazuje się bowiem, że w zasadzie wszystkie przedsiębiorstwa wskazały czynnik samodzielnego projektowania i organizacji ponownego wykorzystania odpadów, zwrotów lub opakowań jako najważniejszy, przy czym największy ciężar odpowiedzi wskazano wśród przedsiębiorstw mikro i małych. Częstość wskazania ww. czynnika pomiędzy równymi wielkościami badanych przedsiębiorstw przedstawiono na rysunku 8.

Rysunek 8. Wskazanie najczęstszych odpowiedzi w zakresie czynnika stymulującego pierwszego wśród polskich przedsiębiorstw dla samodzielnego projektowania i organizacji ponownego wykorzystania odpadów, zwrotów lub opakowań (%)



Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań ankietowych.

Co ciekawe, najwięcej odpowiedzi potwierdzających stopień ważności ww. czynnika jest w grupie przedsiębiorstw małych. Oznacza to nie tylko dużą świadomość tych przedsiębiorstw w zakresie potrzeby zamykania cykli w łańcuchu dostaw, ale

także ogromną determinację do budowania przewagi konkurencyjnej za pomocą realizacji postulatów zrównoważonego rozwoju. Jednocześnie należy wskazać na dużą elastyczność w obrębie podziału przedsiębiorstw, ponieważ w pozostałych kategoriach wyniki są raczej porównywalne.

Na podstawie tej części wyników badania można postawić wniosek pośredni w zakresie elastycznego podejścia do zamykania cyklu obiegu w łańcuchu dostaw, ale także w zakresie rozumienia potrzeby optymalizacji przepływu zwrotów. Logistycy zarządzający łańcuchami dostaw traktują zwrot jako zasób. Z tego punktu widzenia przepływ zwrotny wymaga stymulantów w zakresie zamykania cykli przepływu i zagospodarowania tych zwrotów. Najważniejszym czynnikiem są kompetencje w zakresie tworzenia wewnętrznych systemów zarządzania zwrotem w kategorii optymalnego przepływu w łańcuchu dostaw. Można tu bowiem wskazać na duże osiągnięcia w tym zakresie, szczególnie gdy podstawową trudnością w zarzadzaniu zwrotem jest ich wolumen i tempo przepływu. Zwrot jest zasobem szczególnym, ponieważ sam w sobie jest stymulantem zamykania cyklu i determinuje poziom elastyczności i odporności łańcucha dostaw (w odniesieniu do pozostałych stymulantów, szczególnie zapasu).

W dalszej części badań zapytano menedżerów łańcuchów dostaw o czynniki, które mogą ograniczać poprawę wydajności przepływu zwrotów w łańcuchach dostaw. Wyniki tej części badania przedstawiono w tabeli 8.

Tabela 8. Czynniki ograniczające poprawę wydajności przepływów zwrotów

Lp.	Czynniki ograniczające	Zwroty				
		brak wpływu	mały	średni	duży	bardzo duży/ kluczowy
		N	N	N	N	N
		%	%	%	%	%
1	Brak kontrahentów po stronie dostawcy dostarczających biodegradowalne surowce lub komponenty do produkcji naszych wyrobów	16	2	23	14	0
		29,09%	3,64%	**41,82%**	25,45%	0,00%
2	Brak kontrahentów odbierających odpady, zwroty lub opakowania w celu ich dalszego przetworzenia	16	10	19	10	0
		29,09%	18,18%	34,55%	18,18%	0,00%
3	Brak potrzeby poprawy wydajności w obszarze odpadów, zwrotów lub opakowań	14	5	26	9	1
		25,45%	9,09%	**47,27%**	16,36%	1,82%
4	Brak wiedzy na temat możliwości poprawy wydajności w obszarze odpadów, zwrotów lub opakowań	14	7	20	13	1
		25,45%	12,73%	**36,36%**	23,64%	1,82%

Lp.	Czynniki ograniczające	Zwroty				
		brak wpływu	mały	średni	duży	bardzo duży/ kluczowy
		N	N	N	N	N
		%	%	%	%	%
5	Brak technologii do monitoringu przepływu odpadów zwrotów lub opakowań w cyklach domkniętych w naszym łańcuchu dostaw	14	7	28	6	0
		25,45%	12,73%	**50,91%**	10,91%	0,00%
6	Brak chęci ze strony kontrahentów do dzielenia się informacją na temat możliwości domykania cykli	14	9	25	6	1
		25,45%	16,36%	**45,45%**	10,91%	1,82%
7	Wysokie koszty działań logistycznych niezbędnych do organizacji gospodarki odpadami, zwrotami i wykorzystanymi opakowaniami	12	7	22	14	0
		21,82%	12,73%	**40,00%**	25,45%	0,00%
8	Uregulowania formalno-prawne	9	9	18	18	1
		16,36%	16,36%	**32,73%**	**32,73%**	1,82%
9	Inflacja	9	5	19	19	3
		16,36%	9,09%	**34,55%**	**34,55%**	5,45%
10	Wojna	13	16	22	4	0
		23,64%	29,09%	**40,00%**	7,27%	0,00%
11	Brak zasobów (zakupy)	9	8	27	11	0
		16,36%	14,55%	**49,09%**	20,00%	0,00%
12	Źródła zaopatrzenia	9	3	20	22	1
		16,36%	5,45%	**36,36%**	**40,00%**	1,82%
13	Sytuacja gospodarcza kraju	6	4	29	16	0
		10,91%	7,27%	**52,73%**	29,09%	0,00%
14	Stopień cyfryzacji łańcucha dostaw	11	9	25	10	0
		20,00%	16,36%	**45,45%**	18,18%	0,00%
15	Niezdywersyfikowane kanały dystrybucji	12	5	32	6	0
		21,82%	9,09%	**58,18%**	10,91%	0,00%
16	Utrudniony dostęp do rynków międzynarodowych	17	9	20	8	1
		30,91%	16,36%	**36,36%**	14,55%	1,82%
17	Niestabilność prawa.	8	4	24	18	1
		14,55%	7,27%	**43,64%**	**32,73%**	1,82%
18	Wymogi spełniana postulatów ESG	18	10	20	7	0
		32,73%	18,18%	**36,36%**	12,73%	0,00%
19	Dostępność kompetencji (kapitału ludzkiego)	14	7	28	6	0
		25,45%	12,73%	**50,91%**	10,91%	0,00%

cd. tabeli 8

Lp.	Czynniki ograniczające	Zwroty				
		brak wpływu	mały	średni	duży	bardzo duży/ kluczowy
		N	N	N	N	N
		%	%	%	%	%
20	Struktura organizacyjna	12	10	21	12	0
		21,82%	18,18%	**38,18%**	21,82%	0,00%
21	Złożoność łańcucha dostaw	11	8	26	10	0
		20,00%	14,55%	**47,27%**	18,18%	0,00%
22	Specyfika branży	16	12	15	12	0
		29,09%	21,82%	27,27%	21,82%	0,00%
23	Rodzaj działalności	16	8	21	10	0
		29,09%	14,55%	**38,18%**	18,18%	0,00%
24	Wielkość firmy	18	7	18	11	1
		32,73%	12,73%	**32,73%**	20,00%	1,82%
25	System zarządzania łańcuchem dostaw	8	6	31	10	0
		14,55%	10,91%	**56,36%**	18,18%	0,00%

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań ankietowych.

Przedstawiony rozkład odpowiedzi ukazuje, że trudnością jest określenie kluczowych barier w poprawie wydajności gospodarowania zwrotami. Zaskakujący jest fakt, że wszystkie wymienione destymulanty mają, według wskazań, zdecydowanie średni wpływ. Niemniej jednak, mając na uwadze liczbę destymulantów, można wyłonić te o większym znaczeniu w porównaniu z innymi. Do najważniejszych (nadal nie kluczowych) należą:

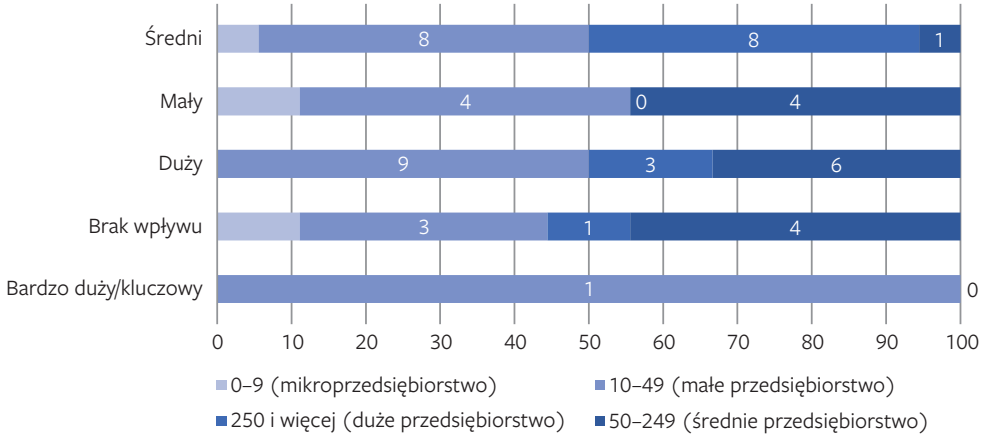
- uregulowania formalne i prawne,
- inflacja,
- źródła zaopatrzenia,
- niestabilność prawa.

Należy podkreślić, że wskazane jako najważniejsze bariery pochodzą z zewnętrznego źródła, a zatem tworzą one warunki ryzyka i niepewności funkcjonowania łańcuchów dostaw. Jednocześnie budujący jest fakt, że dla polskich menedżerów łańcucha dostaw problemem nie są ani ograniczenia w dostępie do międzynarodowych rynków, ani wymogi ESG i zrównoważonego rozwoju. A to daje podstawę dla twierdzenia, że wysokie kompetencje menedżerów wpływają na wysoką elastyczność łańcuchów dostaw w obszarze przepływów zwrotnych. Przepływ zwrotów w łańcuchu dostaw wykazuje więc wysoką stabilność procesów przepływów (odporność)

lub funkcjonuje na wysokim poziomie absorbcji wewnętrznych czynników zmiennych (elastyczność).

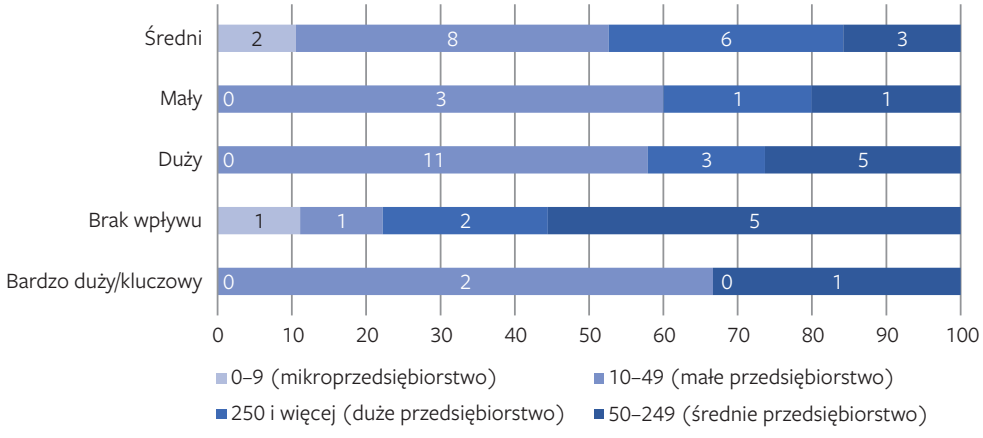
W obu powyższych przypadkach warto zauważyć ponownie zależność najważniejszych i najmniej ważnych destymulantów od wielkości badanego przedsiębiorstwa, co wskazano na kolejnych rysunkach 9, 10, 11, 12 – destymulanty o dużym wpływie na poprawę wydajności gospodarowania zwrotami – oraz na rysunkach 13, 14 i 15 – destymulanty o najniższym wpływie.

Rysunek 9. Odpowiedzi w zakresie uregulowań formalno-prawnych w podziale na wielkość przedsiębiorstwa (%)



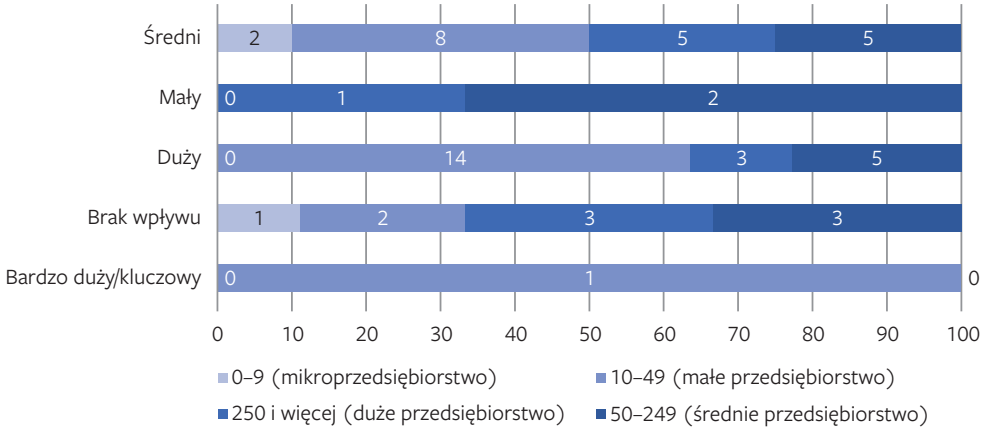
Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań ankietowych.

Rysunek 10. Odpowiedzi w zakresie inflacji w podziale na wielkość przedsiębiorstwa (%)



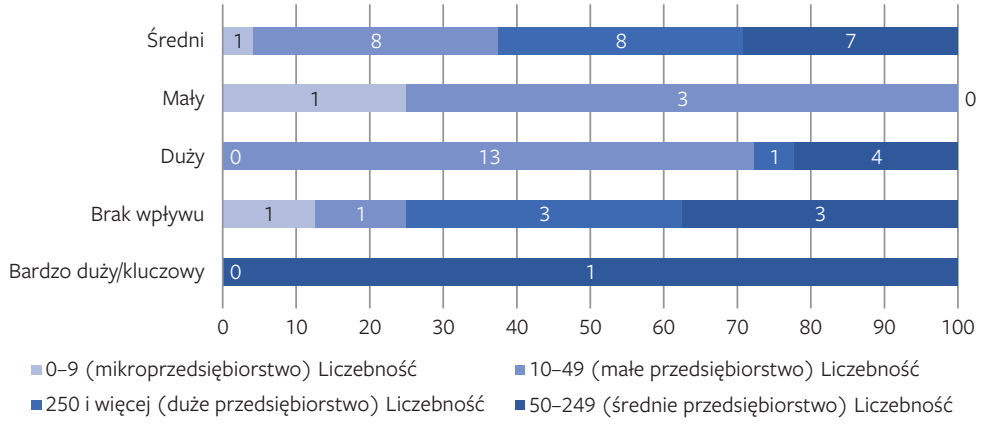
Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań ankietowych.

Rysunek 11. Odpowiedzi w zakresie źródeł zaopatrzenia w podziale na wielkość przedsiębiorstwa (%)



Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań ankietowych.

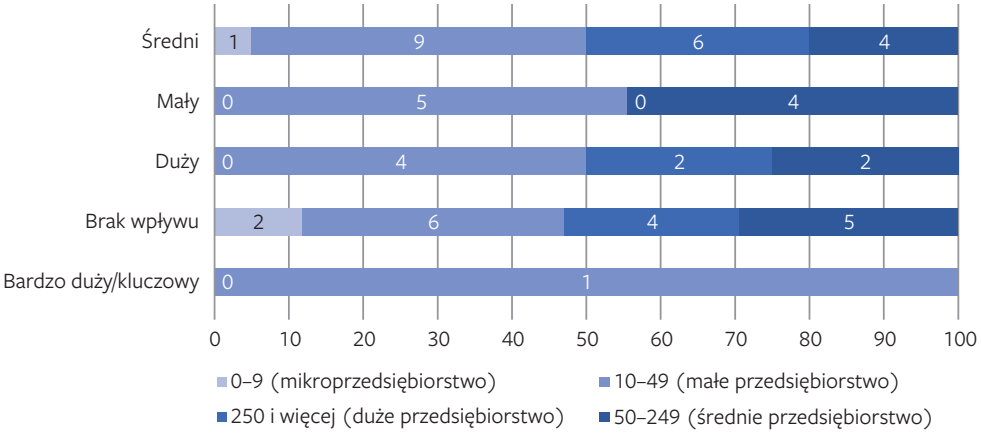
Rysunek 12. Odpowiedzi w zakresie niestabilności prawa w podziale na wielkość przedsiębiorstwa (%)



Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań ankietowych.

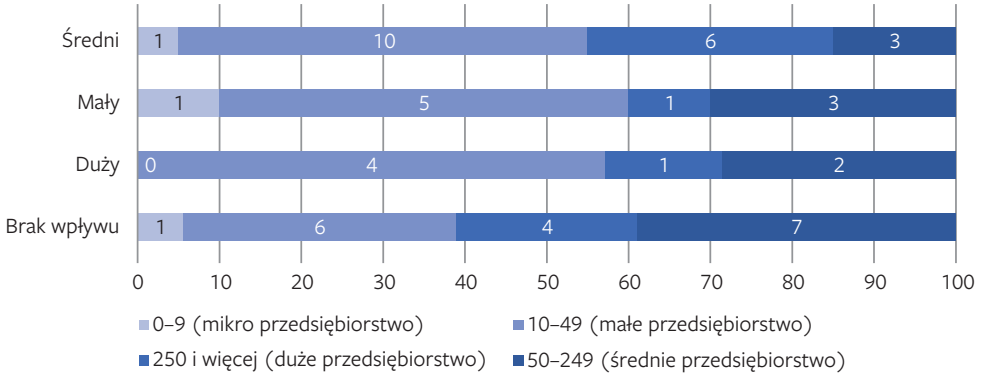
W przypadku barier (pochodzących głównie z zewnątrz) okazuje się, że najczęstsze w zakresie określenia ich dużego wpływu odpowiedzi znajdowały się wśród przedsiębiorstw małych. Na tej podstawie można wnioskować, że poziom kompetencji menedżerów w małych przedsiębiorstwach pozwala skutecznie chronić łańcuch dostaw w zakresie wpływu tych barier na przepływ zwrotów. Ciekawym spostrzeżeniem jest wskazanie, że wielkość firmy nie ma znaczenia dla poziomu wpływu barier na poprawę wydajności gospodarowania zwrotami – rysunek 13.

Rysunek 13. Odpowiedzi w zakresie nieistotnej bariery – utrudnionego dostępu do rynków międzynarodowych w podziale na wielkość przedsiębiorstwa (%)



Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań ankietowych.

Rysunek 14. Odpowiedzi w zakresie nieistotnej bariery – wymogów spełnienia postulatów ESG w podziale na wielkość przedsiębiorstwa (%)

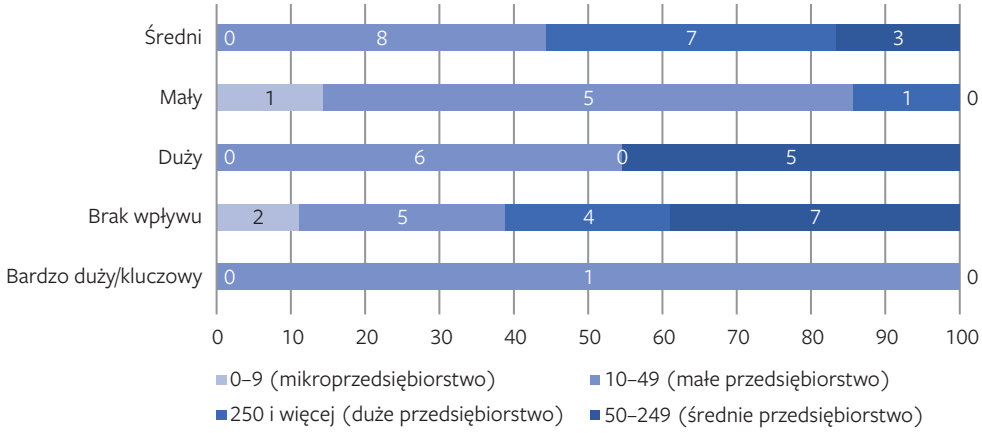


Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań ankietowych.

Wskazane na rysunkach 13, 14 i 15 nieistotne bariery (ze względu na częstość odpowiedzi) są zjawiskiem pozytywnym. Najczęściej te odpowiedzi wskazują przedsiębiorstwa małe, co oznacza, że ekspansja rynkowa, ESG i siła robocze nie stanowi wyzwania, a kompetencje pozwalają na skuteczne zarządzanie przepływami zwrotów w określonych warunkach. Mając to na uwadze, należy wskazać pośrednie wnioski w zakresie czynników ograniczających poprawę wydajności gospodarowania zwrotami w łańcuchach dostaw. Jak już stwierdzono, zwrot jako zasób stanowi główny, materiałowy przepływ w łańcuchu dostaw. Przedstawiona analiza prowadzi do

pośredniej konkluzji, że w warunkach potrzeby zamykania cykli przepływów warunkiem koniecznym sprawności w tym zakresie jest nie tylko potrzeba dywersyfikacji źródeł zaopatrzenia i racjonalne podejście do zarządzania wpływem inflacji, ale także umiejętność reagowania na czynniki zmienne zewnętrzne (te o największym wpływie). Niemniej jednak, jak pokazują wyniki badania, źródło zakłóceń potencjalnego zamkniętego cyklu przepływu zwrotów (ograniczenia wydajności) pochodzi z zewnątrz łańcucha dostaw. To również oznacza, że można uznać badane łańcuchy dostaw za odporne na czynniki wewnętrzne i elastyczne w zakresie czynników zewnętrznych (o poziomie odporności w dalszej części opracowania).

Rysunek 15. Odpowiedzi w zakresie nieistotnej bariery – wielkości firmy, w podziale na wielkość przedsiębiorstwa (%)



Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań ankietowych.

2.6. Możliwość zamknięcia cykli przepływów w łańcuchach dostaw i ich odporność

Przepływy w łańcuchu dostaw wymagają dzisiaj spojrzenia holistycznego w zakresie zamkniętego obiegu. Występuje zależność między poziomem cyrkularności – miejscem zagospodarowania przepływu zwrotnego, a czynnikami, które w różnym stopniu mogą oddziaływać na możliwość zamknięcia cyklu przepływów w łańcuchu dostaw.

Respondentom badania postawiono pytanie o możliwość oceny stopnia wpływu czynników warunkujących zamykanie cyklu przepływów w skali od 1 do 5, w której 1 oznacza nieistotny czynnik, a 5 oznacza najistotniejszy. Wskazane czynniki stanowią jednak warunek konieczny zamykania cyklu. Stąd należy przyjąć, iż głów-

nym przedmiotem tej części badania jest ocena możliwości zamykania cykli poprzez pryzmat wszystkich wskazanych czynników. Wyniki zbiorcze tej części badania przedstawiono w tabeli 9.

Tabela 9. Gradacja ważności czynników warunkujących zamykanie cykli przepływów w łańcuchach dostaw

Czynniki		nieistotne (1)	mało ważne (2)	ważne (3)	bardzo ważne (4)	najistotniejsze (5)
Infrastruktura do obsługi zwrotów	N	18	33	101	50	0
	%	8,91%	16,34%	50,00%	24,75%	0,00%
Sprawny system zagospodarowania odpadów opakowaniowych	N	22	36	106	37	1
	%	10,89%	17,82%	52,48%	18,32%	0,50%
Wykorzystanie opakowań ekologicznych (w tym biodegradowalnych i kompostowalnych)	N	25	33	115	28	1
	%	12,38%	16,34%	56,93%	13,86%	0,50%
Automatyzacja procesów w wykorzystaniem tzw. ekopraktyk	N	24	57	86	31	4
	%	11,88%	28,22%	42,57%	15,35%	1,98%
Wykorzystanie ekopraktyk	N	25	42	101	28	6
	%	12,38%	20,79%	50,00%	13,86%	2,97%
Kompetencje menedżerów	N	25	33	87	52	5
	%	12,38%	16,34%	43,07%	25,74%	2,48%
Cyrkularność łańcucha dostaw zależy od cyklu życia produktu	N	16	34	103	45	4
	%	7,92%	16,83%	50,99%	22,28%	1,98%
Uregulowania prawne	N	15	23	97	61	6
	%	7,43%	11,39%	48,02%	30,20%	2,97%
Wsparcie instytucji publicznych	N	18	43	99	40	2
	%	8,91%	21,29%	49,01%	19,80%	0,99%

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań ankietowych.

Wyniki przedstawione w tabeli 9 potwierdzają twierdzenie o braku możliwości wskazania najistotniejszego czynnika warunkującego zamykanie cykli przepływów. Opierając się na powyższej statystyce, należy stwierdzić, że zdecydowana większość respondentów wszystkie wymienione czynniki uznała za ważne. Odchylenie wyników odpowiedzi w stronę oceny 5 – najistotniejsze jest nieznaczne i mieści się w granicach odchylenia standardowego, co nie daje podstaw do postawienia wniosku wskazującego na czynnik o zdecydowanie wyższym poziomie ważności.

Warunkiem domykania cyklu przepływów w łańcuchach dostaw jest równoważny zestaw wszystkich wskazanych czynników. Jednakże, przyjmując podejście probabilistyczne należy stwierdzić, iż prawdopodobieństwo wystąpienia równolegle wszystkich czynników w tym samym czasie jest niewielkie. Nie uwzględniono bowiem zmiennych o charakterze przypadkowym tworzącym warunki niepewności (brak elementu losowości). Niemniej jednak już samo wskazanie przez respondentów poziomu ważności 3 jest ukierunkowaniem ku stwierdzeniu o obligatoryjności wystąpienia wskazanych czynników. Konkludując, należałoby wskazać, że zamknięcie cyklu przepływu w łańcuchu dostaw warunkowane jest w takim samym stopniu minimum dziewięcioma czynnikami wskazanymi w tabeli 9.

Kolejnym krokiem przeprowadzonej analizy wyników badania jest odniesienie wszystkich czynników wpływających na możliwość domykania cykli do poziomu lub stanu odporności łańcuchów dostaw. Należy przyjąć, iż uwzględnienie czynników wskazanych jako ważne w kształtowaniu cyrkularności łańcuchów dostaw odpowiada poziomowi elastyczności łańcucha dostaw. Wyższy stopień uwzględnienia czynników zmiennych kształtuje odporność łańcucha dostaw (w różnym stopniu). Cyrkularny łańcuch dostaw będzie tym bardziej elastyczny im mniej czynników lub w niższym stopniu będą oddziaływać na procesy realizowane w ŁDOZ. Śmiałość tej tezy argumentuje fakt, że w żadnym z dotychczasowych przypadków nie uwzględniono warunków niepewności, a więc zmiennych nieznanego pochodzenia. Stąd zrealizowanie postulatu o wdrożeniu warunków koniecznych do zamknięcia cykli w stopniu 3 (tabela 9) może oznaczać adekwatny poziom odporności łańcucha dostaw.

Biorąc pod uwagę powyższe, w kolejnym etapie badania zapytano respondentów o określenie ważności rodzajów występującej niepewności. Wynik zbiorczy tej części badania przedstawiono w tabeli 10.

Zdaniem respondentów najistotniejsza w zakresie konfigurowania cyrkularnych łańcuchów dostaw jest niepewność strategiczna (146 odpowiedzi w skali ważne oraz 27 w skali bardzo ważne). Następnie należy wziąć pod uwagę niepewność stochastyczną (133 odpowiedzi w skali ważne i 15 w skali bardzo ważne). Ostatnia jest niepewność probabilistyczna (126 odpowiedzi w skali ważne i 21 – bardzo ważne). Odległość w wartościach między niepewnością stochastyczną i probabilistyczną jest niewielka (jeden głos). Interesujące z punktu widzenia teoriopoznawczego jest to, że ponownie wystąpiła bardzo wysoka ocena w charakterystyce występowania warunków niepewności, w których funkcjonują ŁDOZ. Można zatem sądzić, że wyznaczenie rodzajów niepewności jest determinowane przez wysoki poziom świadomości menedżerów o warunkach niepewności, a ocena rodzajów w skali min. 3 mówi, iż jest ona składnikiem podejmowania decyzji w zarządzaniu odpornością cyrkularnych łańcuchów dostaw.

Tabela 10. Częstości odpowiedzi w podziale na rodzaje występującej niepewności

Lp.	Rodzaj niepewności	skala				
		nieistotne	mało ważne	ważne	Bardzo ważne	najistotniejsze
		N	N	N	N	N
		%	%	%	%	%
1	Niepewność probabilistyczna – charakteryzująca się: przypadkowością, tylko częściowo znanymi źródłami pochodzenia, trudnościami w oszacowaniu skutków.	7	48	126	21	0
		3,47%	23,76%	62,38%	10,40%	0,00%
2	Niepewność stochastyczna – charakteryzująca się: całkowicie nieznanym źródłem pochodzenia, trudnością w oszacowaniu skutków, nagłością pojawienia się.	8	46	133	15	0
		3,96%	22,77%	65,84%	7,43%	0,00%
3	Niepewność strategiczna – charakteryzująca się: występuje incydentalnie, nieznanym źródłem pochodzenia, długoterminowymi skutkami.	3	23	146	27	3
		1,49%	11,39%	72,28%	13,37%	1,49%

Źródło: opracowanie własne na podstawie: A. Barczak, I. Dembińska, Ł. Marzantowicz, K. Nowicka, K. Szopik-Depczyńska, T. Rostkowski, *The Impact of Unpredictable Factors on the Uncertainty's Structure in the Management of Logistics Processes*, "European Research Studies Journal" 2020, 23, s. 186–200; oraz na podstawie wyników badań ankietowych.

Próbowano również zastanowić się nad możliwością połączenia warunków obligatoryjnych zamykania cykli w łańcuchach dostaw ze wskazanymi rodzajami niepewności. Ponieważ w obu przypadkach, czynników warunkujących zamykanie cykli oraz rodzajach niepewności wszystkie znaczące odpowiedzi ustalono na poziomie 3 – ważne, możliwe jest określenie współzależności za pomocą współczynnika korelacji. Wyniki tego połączenia przedstawiono w tabeli 11.

Tabela 11. Zależność między czynnikami cyrkularności a niepewnością

Współczynnik korelacji Pearsona				
Lp.	Czynniki	Niepewność strategiczna	Niepewność stochastyczna	Niepewność probabilistyczna
1	Infrastruktura do obsługi zwrotów	0,9438	0,9117	0,9261
2	Sprawny system zagospodarowania odpadów opakowaniowych	0,9718	0,9658	0,9710
3	Wykorzystanie opakowań ekologicznych (w tym biodegradowalnych i kompostowalnych)	0,9785	0,9760	0,9732
4	Automatyzacja procesów w wykorzystaniem tzw. ekopraktyk	**0,8682**	0,9446	0,9565

Współczynnik korelacji Pearsona				
Lp.	Czynniki	Niepewność strategiczna	Niepewność stochastyczna	Niepewność probabilistyczna
5	Wykorzystanie ekopraktyk	0,9651	0,9886	0,9888
6	Kompetencje menedżerów	0,9114	**0,8715**	**0,8885**
7	Cyrkularność łańcucha dostaw zależy od cyklu życia produktu	0,9681	0,9420	0,9532
8	Uregulowania prawne	0,9039	**0,8243**	**0,8421**
9	Wsparcie instytucji publicznych	0,9525	0,9612	0,9732

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań ankietowych.

Ponieważ współczynnik korelacji Pearsona wykazuje zależność w przedziale od −1 do 1, należy zauważyć, że w tabeli 11 występuje wysoka korelacja w zasadzie pomiędzy wszystkimi zmiennymi. Oceniając poziom zależności, przyjmuje się następującą gradację:

- <0,2 – brak zależności,
- 0,2–0,4 słaba zależność,
- 0,4–0,7 umiarkowana zależność,
- 0,7–0,9 dość silna zależność,
- >0,9 bardzo silna zależność.

W zdecydowanej większości korelacja między czynnikami cyrkularności a rodzajami niepewności jest bardzo silna. Żadna z zależności nie jest pełna – nie osiągnęła wartości 1. Jednak tylko nieliczne (zaznaczone pogrubieniem w tabeli 11) zależności są określone jako silne (dość silne).

Wobec powyższego można postawić pośredni wniosek dotyczący zależności w zakresie zarządzania ŁDOZ i jego odporności. W kontekście zależności między obligatoryjnymi czynnikami zamykania cykli przepływów w łańcuchu dostaw oraz warunkami niepewności należy odnotować również wysoką zależność odporności od czynników cyrkularności. Warto przyjrzeć się twierdzeniu, że poziom odporności można ustalić na podstawie korelacji między czynnikami cyrkularności i rodzajami niepewności – przy uwzględnieniu również zmiennych kształtujących niepewność[61].

[61] W opracowaniu nie odniesiono się do zmiennych kształtujących niepewność. Wykorzystano wyniki zawarte w opracowaniu: A. Barczak, I. Dembińska, Ł. Marzantowicz, K. Nowicka, K. Szopik-Depczyńska, T. Rostkowski, op. cit.

2.7. Podsumowanie

Celem badania było określenie, czy rezylientnosć może determinować funkcjonowanie ŁDOZ. Analizując wyniki badania, można sformułować następujące wnioski:

1. Przepływ zwrotów w łańcuchu dostaw cechuje się stabilnością (odpornością), choć wskazano też, że może być realizowany w warunkach wysokiego poziomu absorbcji wewnętrznych czynników zmiennych (elastyczność).
2. Poziom kompetencji menedżerów w małych przedsiębiorstwach pozwala skutecznie chronić łańcuch dostaw w zakresie wpływu barier na przepływ zwrotów.
3. W warunkach zamykania cykli przepływów czynnikiem koniecznym uzyskania stanu sprawności jest nie tylko dywersyfikacja źródeł zaopatrzenia i racjonalne podejście do zarządzania wpływem inflacji, ale także umiejętność reagowania na czynniki zmienne zewnętrzne (te o największym wpływie).
4. Źródła zakłóceń potencjalnego zamkniętego cyklu przepływu zwrotów (ograniczenia wydajności) może znajdować się w otoczeniu zewnętrznym łańcucha dostaw.
5. Badane łańcuchy dostaw można uznać za odporne na czynniki wewnętrzne i elastyczne w zakresie czynników zewnętrznych.
6. Występuje zależność między poziomem cyrkularności – miejscem zagospodarowania przepływu zwrotnego, a czynnikami, które w różnym stopniu mogą oddziaływać na możliwość zamknięcia cyklu przepływów w łańcuchu dostaw.
7. Wyższy stopień uwzględnienia czynników zmiennych kształtuje odporność łańcucha dostaw, lecz w różnym stopniu.
8. ŁDOZ będzie tym bardziej elastyczny im mniej czynników lub w mniejszym stopniu będą one oddziaływać na procesy realizowane w strukturze ŁDOZ.
9. Najistotniejsza w zakresie konfigurowania ŁDOZ jest niepewność strategiczna, następnie wskazano na niepewność stochastyczną, a w dalszej kolejności na niepewność probabilistyczną.
10. Wyznaczenie rodzajów niepewności jest determinowane przez wysoki poziom świadomości menedżerów w zakresie warunków niepewności.
11. Niepewność jest składnikiem podejmowania decyzji w zarządzaniu odpornością ŁDOZ.
12. Korelacja między czynnikami cyrkularności a rodzajami niepewności jest z reguły bardzo silna.

3

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI EMISYJNOŚCI CO_2 W TRANSPORCIE DROGOWYM W UJĘCIU DYNAMICZNYM

Joanna Archutowska

3.1. Wprowadzenie

Transformacja energetyczna oraz wdrażanie GOZ z jednej strony przyczyniać się będą do spadku jednostkowej emisyjności w logistyce, ale z drugiej strony, przynajmniej do momentu osiągnięcia neutralności klimatycznej, rosła będzie liczba procesów generujących emisje. GOZ jest ukierunkowana na oszczędzanie nieodnawialnych zasobów pierwotnych, energochłonności, a przez to emisyjności procesu wydobycia surowców oraz poboru wody w tym procesie, a także na wyeliminowanie problemu zalegających odpadów. Odzysk zasobów jest jednak energochłonny, powoduje emisje i zużycie. Proces odzysku zasobów do przygotowania ich do ponownego wykorzystania w procesach produkcyjnych to również skomplikowany proces logistyczny obejmujący po kilka ogniw łańcucha dostaw.

Do oceny emisyjności CO_2 procesów logistycznych w okresie tej transformacji może służyć analiza kosztów i korzyści (AKK)[62]. AKK nie jest przy tym prostym audytem emisji CO_2. Ma na celu zaprognozowanie emisyjności w dłuższym okresie analizy, a następnie jej zmonetyzowanie.

---

62 Metodyka wykonania AKK w transporcie jest w Europie, w tym również w Polsce, szczegółowo uregulowana w związku z wymogami KE w zakresie wykonania AKK przy składaniu wniosku o dofinansowanie unijne.

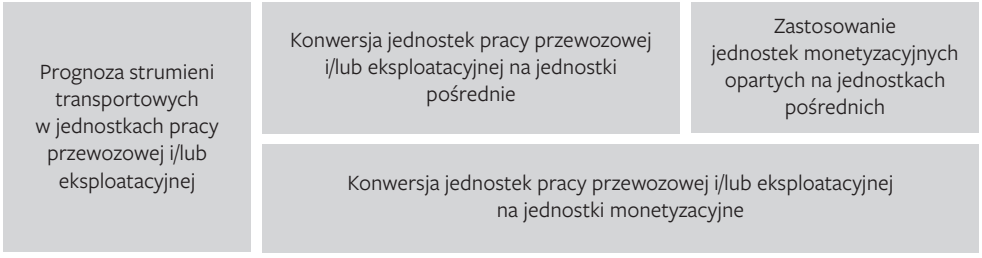
Technika wykonania AKK w zakresie efektów zewnętrznych, w tym emisyjności CO_2, składa się z dwóch etapów:

- wygenerowania prognoz strumieni transportowych wyrażonych w jednostkach pracy przewozowej, np. w tkm (brutto lub netto) i/lub jednostkach pracy eksploatacyjnej, przede wszystkim w poj.-km i poc.-km;
- przemnożenia prognoz strumieni transportowych przez koszty jednostkowe emisji celem jej zmonetyzowania – będzie to koszt emisji wyrażony w złotych polskich (PLN) lub euro (EUR) na jednostkę pracy przewozowej lub pracy eksploatacyjnej.

Generacja prognoz strumieni transportowych opiera się albo o modelowanie transportowe w horyzontach prognozy przy zastosowaniu specjalnego oprogramowania, np. w środowisku VISUM, lub w oparciu o analizę pojedynczych łańcuchów transportowych od miejsca nadania przesyłki do miejsca jej przeznaczenia, prognozę wolumenów transportowych w tych łańcuchach oraz przeliczenie (wyrażenie) tej prognozy w jednostkach pracy przewozowej i/lub pracy eksploatacyjnej.

Do monetyzacji efektów zewnętrznych wykorzystuje się gotowe tablice kosztów jednostkowych przygotowane przez organizacje międzynarodowe lub instytuty naukowe. Tablice te przygotowane są albo na dany rok bazowy, albo w formie ciągłej dla dłuższego okresu analizy, wraz z indeksacjami wartości pieniężnych do wartości realnych. Tablice te mogą bezpośrednio przeliczać na jednostkę pieniężną pracę przewozową lub eksploatacyjną, lub monetyzują dany efekt zewnętrzny przy zastosowaniu innej jednostki technicznej. W przypadku emisji CO_2 tablice mogą więc podawać, np. skutek emisji CO_2 w PLN na 1 tkm przewiezionego ładunku, lub skutek emisji CO_2 w PLN na 1t wyemitowanego CO_2. W tym drugim przypadku prognozę wyrażoną w jednostkach pracy przewozowej i/lub pracy eksploatacyjnej przelicza się na tony emisji CO_2, a potem monetyzuje.

Rysunek 16. Proces przygotowania analizy kosztów i korzyści



Źródło: opracowanie własne.

O ile prognozy strumieni transportowych wykonuje się z uwzględnieniem prognoz makroekonomicznych i demograficznych lub w przypadku działalności bizneso-

wej realnych biznesplanów, a wartości monetyzacyjnych zarówno z uwzględnieniem indeksacji w wartościach realnych, jak i uwzględnieniem wartości pieniądza w czasie (dyskontowanie do roku bazowego analizy), o tyle konwersja jednostek pracy przewozowej i eksploatacyjnej na jednostki pośrednie lub bezpośrednio na jednostki monetyzacyjne w żaden sposób nie uwzględnia prognoz odnoszących się do postępu technicznego. AKK jest więc pod względem technicznym analizą statyczną, a ekonomicznym – analizą dynamiczną.

Istnieją pewne elementy analizy, które pod tym względem można dość szybko skorygować. Na przykład, wykorzystując prognozy emisyjności wytwarzania energii elektrycznej[63], można w analizie dynamicznie w czasie przedstawić emisyjność środków transportu napędzanych elektrycznie. Można również w dość prosty sposób przyjąć scenariusze wymiany pojazdów o napędzie spalinowym na pojazdy o napędzie elektrycznym przyjmując np. cele, które postawiła Komisja Europejska (KE) w zakresie wymiany pojazdów spalinowych na pojazdy o napędzie bezemisyjnym. Ustala się więc dynamicznie zmieniającą się proporcję pomiędzy udziałem we flocie pojazdów napędzanych spalinowo i pojazdów napędzanych elektrycznie. Prognozowana praca eksploatacyjna jest następnie dzielona zgodnie z tą proporcją i przemnożona przez jednostkową emisyjność CO_2 pojazdów spalinowych oraz pojazdów elektrycznych (t CO_2/poj.-km). Następnie można przystąpić do zmonetyzowania efektów cieplarnianych przeliczając uzyskane w prognozach tony emisji CO_2 przez wartość emisji CO_2 w całym okresie analizy. W tym celu stosuje się np. wycenę Europejskiego Banku Inwestycyjnego (EBI)[64]. Uwzględnia ona coraz większą szkodliwość dodatkowych emisji w czasie wobec aktualnie występujących efektów cieplarnianych.

Intuicyjnie, wprowadzenie tylko tak zróżnicowanych scenariuszy zmian technicznych do AKK w okresie transformacji może być niewystarczające do wykonania analizy. Co więc należałoby dodatkowo uwzględnić w AKK, aby była ona bardziej precyzyjna pod względem uwzględnienia dynamiki postępu technicznego?

Przedmiotem tego rozdziału jest wypełnienie luki metodycznej AKK pod względem uwzględnienia w analizie dynamiki postępu technicznego w towarowym transporcie samochodowym.

Ekonomista nie ma zazwyczaj wystarczającej wiedzy, aby przygotować komplet danych technicznych. Polega więc na opracowaniach przygotowanych przez

---

63 Polityka energetyczna Polski do 2040 r., Ministerstwo Klimatu i Środowiska, 2021, https://www.gov.pl/web/klimat/polityka-energetyczna-polski (dostęp: 4.10.2022).

64 Economic Appraisal Vademecum 2021–2027, General Principles and Sector Applications, Komisja Europejska DG Regio 2021, https://jaspers.eib.org/knowledge/publications/economic-appraisal-vademecum-2021–2027-general-principles-and-sector-applications (dostęp: 4.10.2022).

inżynierów. Warunkiem koniecznym dla przeniesienia do AKK wyników badań z tych opracowań jest uporządkowany sposób ich prezentacji pod względem założeń, metodyki i wyników. Nie można przepisać dowolnej wartości, np. z artykułu naukowego, jeżeli nie potwierdzi się kompatybilności tej wartości z innymi wartościami już przyjętymi w analizie. Brak rzetelnie przygotowanych stopek metodycznych do gotowych tablic, ewentualnie odniesień do źródeł literatury, w których one się znajdują, jest jednym z najpoważniejszych problemów w prowadzeniu AKK, w sytuacji, kiedy analityk musi te tablice uzupełnić zachowując kompatybilność danych. To samo dotyczy zresztą źródeł danych, o które tablice te są uzupełniane.

3.2. Spodziewane zmiany techniczne w transporcie istotne dla emisyjności CO_2

Czynniki, które można uznać za istotne dla dynamicznej analizy emisyjności CO_2 w drogowym transporcie towarowym w Europie to:

- Postęp techniczny w konstrukcji pojazdów spalinowych, który ma na celu obniżenie ich emisyjności poprzez zastosowanie różnych rozwiązań technicznych – chodzi przy tym o obniżenie energochłonności procesów przewozowych. W tej grupie analizuje się zarówno pojazdy o napędzie spalinowym, jak i hybrydowe o napędzie spalinowo-elektrycznym. Połączenie tych dwóch technologii w jednej grupie w ramach analizy wynika z faktu, że zastosowanie technologii hybrydowych ułatwia rekuperację energii, tj. odzyskiwanie energii w trakcie jazdy. Intuicyjnie, odzyskiwanie energii w trakcie jazdy z perspektywy AKK pozycjonuje inaczej jazdę w warunkach miejskich (*stop-and-go-traffic*) wobec jazdy w warunkach pozamiejskich. Ma też znaczenie w wyznaczaniu współczynników korygujących zużycie paliwa, a więc i emisyjności, dla jazdy po drogach o słabszym stanie technicznym oraz po drogach przechodzących przez tereny o różnym nachyleniu bez korekty niwelety terenu[65].
- Rozwój i postęp technologiczny w konstrukcji pojazdów elektrycznych i wodorowych – wdrożenia do jazdy pojazdów elektrycznych w praktyce są już faktem zarówno dla pojazdów dostawczych do 3,5 tony dopuszczalnej masy całkowitej (DMC), jak i dla mniejszych i średnich (*rigid trucks*, RT) oraz ciężkich pojazdów ciężarowych (*trailer trucks*, TT). Kluczowe jest przy tym znaczenie masy własnej baterii wobec jej pojemności i tempo postępu technicznego

[65] Odrębnym zagadnieniem, nie analizowanym w tym rozdziale, ponieważ dotyczy osobnego segmentu AKK mieszczącego się w szerszym kontekście AKK w pełnym cyklu procesów, jest obniżanie emisyjności pojazdów poprzez zastosowanie nowatorskich rozwiązań w produkcji paliw.

w tym zakresie oraz wydajność baterii w niskich temperaturach. W przypadku pojazdów wodorowych, o ile technologia napędu jest już rozpoznana, to wciąż otwartą kwestią jest produkcja „zielonego" wodoru, która opiera się na energii elektrycznej[66]. Pojazd wodorowy musi być ponadto wyposażony baterię po to, aby ustabilizować przepływy energii. Wodór ma różną wydajność energetyczną w zależności od stanu skupienia i sprzężenia zarówno pod względem jego masy, jak i objętości[67]. Z perspektywy AKK pojazdy elektryczne i wodorowe będą więc nieporównywalne pod względem ładowności zarówno między sobą, jak i w porównaniu z pojazdami spalinowymi. W praktyce może się więc okazać, że w AKK należy przyjąć inny współczynnik przeliczenia pracy eksploatacyjnej (poj.-km) na pracę przewozową (tkm) w zależności od napędu pojazdów. W przypadku baterii elektrycznej łańcuch konwersji energetycznej potrzebnej do napędzenia pojazdu jest krótszy niż w przypadku energii wodorowej[68]. Proces obliczeniowy konwersji pierwotnej energii w emisję CO_2 jest więc bardziej skomplikowany. W dalszej części rozdziału, w części obliczeniowej, zostanie więc przyjęte uproszczenie polegające na przyjęciu wymiany pojazdów ciężarowych spalinowych na elektryczne dla testowania scenariuszy.

- Dynamika wymiany pojazdów spalinowych na pojazdy elektryczne i wodorowe – oprócz aspektów restytucyjnych i technicznych, będzie ona zależna od czynników organizacyjnych oraz wydolności systemu energetycznego. Intuicyjnie, na bazie ogólnie dostępnych informacji, można zakładać, że dynamika wymiany pojazdów dostawczych będzie wyższa w krótkim i średnim okresie niż dynamika wymiany pojazdów ciężarowych, zwłaszcza dynamika wymiany pojazdów ciężkich (TT). Alternatywnie, jeśli z jakichś przyczyn opóźni się proces wymiany w grupie pojazdów ciężkich jeżdżących na długich dystansach, możemy mieć w przyszłości do czynienia z wyższym tempem przełożenia procesów przewozowych na zasadniczej drodze przewozu na transport kolejowy przy wykorzystaniu naczep nieintermodalnych przeładowywanych poziomo (*roll on – roll off*, RORO). Na dynamikę procesu w tym zakresie znaczący wpływ mają decyzje KE. W momencie pisania tego opracowania spodziewana jest rewizja wymo-

66 Obecnie większość produkcji wodoru opiera się na gazie ziemnym, a więc jest emisjogenna. Możliwa jest produkcja oparta na energii elektrycznej, ale aby wodór był „zielony", energia ta powinna pochodzić ze źródeł odnawialnych. Problem masowej produkcji „zielonego" wodoru jest więc problemem wytwarzania energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych.

67 P. Aguilar, B. Groß, *Battery Electric Vehicles and Fuel Cell Electric Vehicles, an Analysis of Alternative Powertrains as a Mean to Decarbonise the Transport Sector*, "Sustainable Energy Technologies and Assessments" 2022, 53.

68 Ze względu na wytracanie energii w procesie konwersji od pierwotnego źródła energii do energii napędowej pojazdy napędzane elektrycznie będą bardziej wydajne niż pojazdy napędzane wodorem. Przyjmuje się, że może być to nawet 1,25–3,9 razy wyższa wydajność.

gów KE pod względem emisyjności CO_2 wobec nowych pojazdów ciężarowych wprowadzanych do obrotu w Europie[69].

- Dynamika zmian w miksie energetycznym i produkcja własna bezemisyjnej energii przez operatorów logistycznych – z perspektywy tego opracowania, oceniającego procesy przewozowe wykonywane w warunkach polskich, w kontekście AKK znaczenie ma tempo zmian w miksie energetycznym. Jednak wykonywanie profesjonalnych przewozów drogowych w znacznej części jest domeną dużych operatorów transportu lub operatorów logistycznych. Wielu małych przewoźników drogowych pracuje w praktyce na rzecz tych operatorów i obsługuje przewozy pomiędzy terminalami dużych operatorów TSL i KEP. Operatorzy ci mają możliwość generacji własnej energii odnawialnej, np. z paneli fotowoltaicznych umieszczonych na dachach ich terminali i ładowania tak wygenerowaną energią zarówno pojazdów własnych, jak i obsługujących ich pojazdów kontraktowanych[70]. Przygotowanie scenariusza zmian w miksie energetycznym na użytek AKK może więc nie tylko uwzględniać oficjalne plany w ramach polityki energetycznej, ale również scenariusze produkcji własnej energii bezemisyjnej przez dużych operatorów TSL i KEP. Możliwość zastosowania tego rodzaju rozwiązania zależy nie tylko od sposobu generacji energii elektrycznej, ale również od tego, jaka część doładowań pojazdów może być wykonana w bazie transportowej lub terminalu logistycznym, a jaka musi być wykonana na trasie podczas realizacji zadań przewozowych.
- Dynamika przełożeń międzygałęziowych droga-szyna[71] – jak do tej pory w Europie różnego rodzaju inicjatywy mające na celu przełożenie większej liczby pojazdów ciężarowych w wewnątrzeuropejskich obrotach handlowych na transport kolejowy miały miejsce tylko na poziomie koncepcyjnym. Głównym ograniczeniem jest niewydolność kolei pod względem obsługi transportowej w dobrym

69 Zgodnie z zapowiedziami KE nowe wymogi powinny zostać podane do publicznej wiadomości w listopadzie 2022 roku.

70 Kolejnym rozwiązaniem w fazie wdrożeniowej jest zastosowanie małych przemysłowych elektrowni atomowych. Instalacja takich elektrowni nie jest obwarowana rygorystycznymi procedurami administracyjnymi, takimi jak budowa dużych elektrowni atomowych. Rozwiązania takie są uważane za możliwe w zakresie generacji bezemisyjnej energii dla dużych miast lub klastrów gospodarczych.

71 W analizie pominięto zagadnienie przełożeń międzygałęziowych w transporcie krajowymi i wewnątrzeuropejskim przy wykorzystaniu żeglugi śródlądowej i żeglugi morskiej przybrzeżnej (*short-sea*). Żegluga śródlądowa jest uzależniona od zapewnienia odpowiednich warunków żeglugowych, które w warunkach europejskich jest coraz trudniej zapewnić w okresach suszy oraz po wystąpieniu deszczy nawalnych. Ze względu na uwarunkowania środowiskowe oraz wodno-gruntowe użeglowienie polskich rzek dla transportu towarowego nie wydaje się być realne. W zakresie żeglugi przybrzeżnej istnieje natomiast potencjał do przełożenia z transportu drogowego strumieni przewozowych w relacjach z Wielką Brytanią.

standardzie prędkości handlowej[72]. Podstawowym problemem technicznym był natomiast brak przystępnej cenowo technologii do szybkiego przekładania naczep na transport kolejowy w systemie RORO. Luka techniczna jest pod tym względem stopniowo zamykana. Aktualnie powstające terminale intermodalne w Europie w systemie RORO powstają głównie w dwóch konkurencyjnych technologiach, które nie są ze sobą wzajemnie kompatybilne (*Modalohr i Cargobeamer*). W Polsce w środowisku akademickim zostały już ponadto opracowane co najmniej dwie technologie będące dużo prostszym rozwiązaniem od wyżej wymieniowych. Jak do tej pory jednak, nie podjęto próby ich wdrożenia.

3.3. Scenariusze postępu technicznego w transporcie drogowym

Poniżej zaprezentowano wyniki przeglądu literatury w zakresie zmian technicznych w transporcie drogowym, których należy się spodziewać w najbliższych latach w związku z realizacją celów klimatycznych. Wybrano tylko wyniki tych analiz, które można albo bezpośrednio przełożyć do założeń AKK, albo na ich podstawie stworzyć zestaw współczynników korygujących założenia teoretyczne.

Postęp techniczny w konstrukcji samochodów

Zmiany konstrukcyjne w pojazdach dostawczych oraz pojazdach ciężarowych, które możemy zaobserwować w ostatnich latach są skutkiem wprowadzenia przez KE wymogów wobec producentów samochodów wynikających z celów klimatycznych. W przypadku pojazdów ciężarowych, w 2019 roku KE wprowadziła zasady odnoszące się do uśrednionej emisyjności pojazdów ciężarowych wprowadzanych na rynek. W stosunku do roku 2019, w roku 2030 średnia emisyjność powinna zostać obniżona o 30%. W przypadku małych pojazdów dostawczych do 3,5 t, w UE obowiązują natomiast te same cele, które ustalono dla pojazdów osobowych. Od roku 2035 nie będzie możliwa sprzedaż pojazdów dostawczych o napędzie spalinowym. Jak do tej pory podobnego celu nie ustalono dla pojazdów ciężarowych. Jak powiedziano powyżej, regulacja w tym zakresie spodziewana jest w listopadzie 2022 roku.

---

72 Jest to związane z trudnością wygospodarowania slotów przewozowych dla pociągów towarowych pomiędzy szybciej poruszającymi się pociągami pasażerskimi dodatkowo mającymi priorytet na europejskiej sieci kolejowej. Zagadnienie to znajduje się poza obszarem badawczym tego rozdziału i zostanie pominięte.

R. Galwin wraz ze współpracownikami[73] przeanalizował tendencje w spalaniu paliwa przez pojazdy ciężarowe o napędzie spalinowym w poszczególnych państwach europejskich na podstawie danych dostępnych w ENERDATA. Baza ta opiera się na danych dostarczonych przez poszczególne kraje. Mimo postępu technicznego, nie można wyciągnąć wniosku, że przez ostatnie 20 lat nastąpiła jakakolwiek poprawa w zakresie efektywności energetycznej ciężarowych pojazdów spalinowych. Autorzy mieli też do dyspozycji wyniki 105 kontrolowanych testowych przejazdów pojazdów ciężarowych wykonanych na przestrzeni prawie 20 lat w północnych Włoszech przeprowadzone przez jedno z włoskich czasopism motoryzacyjnych. Wyniki testów przetworzone matematycznie potwierdziły to, co widać było z ogólnonarodowych statystyk. Wyższe parametry pojazdów ciężarowych nie przekładały się w znaczącym stopniu na niższe zużycie paliwa na jednostkę pracy przewozowej. Za przyczyny autorzy uznali wyższą prędkość i przyspieszenie, które prowadzą do zwiększonego zużycia paliwa.

Przez lata producenci samochodów nie mieli wystarczającej motywacji do tego, żeby znacząco obniżyć zużycie paliwa przez nowe pojazdy ciężarowe. Impulsem do poprawy parametrów stały się właśnie regulacje UE wydane w 2019 roku[74]. Kompleksową analizę potencjału ograniczenia zużycia paliwa przez pojazdy ciężarowe o napędzie spalinowym wykonał m.in. O. Delgado[75] dla dwóch grup segmentów użytkowych pojazdów ciężarowych – ciągników z naczepami (*tractor-trailer*, TT) oraz jednoczłonowych samochodów ciężarowych o mniejszej ładowności (*rigid truck*, RT). Oszacowano, o ile można zmniejszyć zużycie paliwa, stosując technologie dla silnika, skrzyni biegów i innych parametrów technicznych pojazdów już dostępne na rynku lub co do których szacuje się, że staną się dostępne w średnim okresie. Nie analizowano przy tym stylu jazdy kierowców oraz usprawnień w logistyce. Dla każdej grupy pojazdów zdefiniowano pojazdy reprezentatywne oraz reprezentatywną wielkość ładunku. Dopuszczalną masę całkowitą pojazdu (DMC) reprezentatywnego TT określono na 40 t, masę własną ciągnika siodłowego na 7,4 t, a masę własną naczepy na 7,0 t. DMC reprezentatywnego RT to 12 t, a masa własna pojazdu – 6,5 t. Do określenia zużycia paliwa przez te pojazdy wykorzystano

---

73 R. Galvin, A. Martulli, F. Ruzzenenti, *Does Power Curb Energy Efficiency? Evidence from Two Decades of European Truck Tests*, „Energy" 2021, no. 232.

74 Z perspektywy tego rozdziału nie jest istotne, czy zintensyfikowano badania i rozwój w tym zakresie, czy firmy miały już rozwiązania znajdujące się fazie przedwdrożeniowej, ale ich nie wdrażały w związku w wydłużaniem cyklu życia technologii, na których rozwój wydano znaczące środki finansowe.

75 O. Delgado, F. Rodriguez, R. Muncrief, *Fuel Efficiency Technology in European Heavy-Duty Vehicles: Baseline and Potential for the 2020–2030 Time Frame*, ICCT 2017.

oprogramowanie VECTO[76] i Autonomie[77]. W przypadku TT zużycie paliwa w roku bazowym analizy (2015) to 33,1 l/100 km, a RT – 21,4 l/100 km.

W analizie przyjęto trzy rodzaje uwarunkowań wykonywania przewozów drogowych w zależności od standardu i lokalizacji drogi:

- przejazd dalekobieżny (LONG HAUL, LH) – wykonywany głównie po drogach szybkiego ruchu,
- przejazd regionalny (REGIO, R) – wykonywany zarówno po drogach szybkiego ruchu, jak i po drogach zamiejskich,
- przejazd miejski (URBAN, U) – wykonywany w warunkach ruchu miejskiego z dużą ilością zatrzymań (*stop-and-go traffic*).

W przypadku TT, reprezentatywny ładunek w podróży dalekobieżnej przyjęto na poziomie 19,3 t, w podróży regionalnej i miejskiej – 12,9 t przy maksymalnej ładowności 25,6 t. W przypadku RT, reprezentatywny ładunek przyjęto na poziomie 3 t, przy maksymalnej ładowności 5,5 t. Wyniki testów poziomu zużycia paliwa uzyskane przez autorów opracowania w oprogramowaniu VECTO zaprezentowano w tabeli 12.

Tabela 12. Wyniki testów zużycia paliwa pojazdów spalinowych uzyskane przez O. Delgado, F. Rodrigueza i R. Muncriefa

			EMPTY	STANDARD	MAX
TT PAYLOAD	URBAN	kg	-	12 900	25 600
TT FC	URBAN	l/100 km	28,05	43,09	57,31
TT PAYLOAD	REGIONAL	kg	-	12 900	25 600
TT FC	REGIONAL	l/100 km	25,03	36,37	46,90
TT PAYLOAD	LONG HAUL	kg	-	19 300	25 600
TT FC	LONG HAUL	l/100 km	23,74	33,06	36,16
RT PAYLOAD	URBAN	kg	-	3000	5500
RT FC	URBAN	l/100 km	17,50	21,40	24,60
RT PAYLOAD	REGIONAL	kg	-	3000	5500

76 VECTO (*Vehicle Energy Consumption calculation TOol*) to oprogramowanie do oszacowania zużycia paliwa pojazdu ciężarowego oraz określania emisji CO_2. VECTO i odpowiednia metodologia certyfikacji zostały opracowane w ramach serii umów uruchomionych przez DG CLIMA. VECTO wprowadzono do europejskiego rozporządzenia w sprawie homologacji pojazdów w maju 2017 roku jako oficjalne narzędzie używane w Europie do certyfikacji i monitorowania zużycia paliwa i emisji CO_2 z pojazdów ciężarowych. Platforma oprogramowania VECTO składa się z oprogramowania VECTO oraz szeregu innych narzędzi programowych opracowanych na potrzeby procedury certyfikacji ciężkich pojazdów drogowych. Z narzędzia VECTO może korzystać każdy.

77 Autonomie to oprogramowanie opracowane przez Argonne National Laboratory (ANL, 2015) w Stanach Zjednoczonych. Oprogramowanie to posiada więcej funkcjonalności niż VECTO.

			EMPTY	STANDARD	MAX
RT FC	REGIONAL	l/100 km	17,40	20,00	22,20
RT PAYLOAD	LONG HAUL	kg	-	3000	5500
RT FC	LONG HAUL	l/100 km	19,40	24,90	26,30

Źródło: opracowanie własne na podstawie: O. Delgado, F. Rodriguez, R. Muncrief, *Fuel Efficiency Technology in European Heavy-Duty Vehicles: Baseline and Potential for the 2020–2030 Time Frame*, ICCT 2017.

Autorzy oszacowali, że dzięki postępowi technicznemu w latach 2016–2030 jest możliwa redukcja zużycia paliwa do poziomu 18,9 l/100 km w przypadku TT i do poziomu 12,1 l/100 km w przypadku RT. Spadek zużycia paliwa, a tym samym emisyjności CO_2, od roku 2016 do roku 2030 wynosić więc będzie średniorocznie 3,6%. Tak obliczoną dynamikę przyjęto na użytek części obliczeniowej AKK w tym rozdziale.

Od momentu wprowadzenia przez KE wymogów dotyczących emisyjności pojazdów ciężarowych wielu kluczowych producentów wprowadziło na rynek już nie tylko małe elektryczne samochody dostawcze, ale również wysoko gabarytowe pojazdy ciężarowe. Zasięg tych samochodów na jednym ładowaniu baterii jest ograniczony. Dzisiejsze technologie mające zastosowanie w bateriach nie mogą konkurować z olejem napędowym, który posiada bardzo wysoką gęstość energetyczną. Rozwiązaniem tego problemu jest nie tylko dalszy postęp technologiczny w zakresie zwiększania gęstości baterii elektrycznych. Za rozwiązanie możliwe do wdrożenia już od 2025 roku uważa się technologię szybkiego ładowania megawatowego[78].

Podstawowym problemem analitycznym z perspektywy AKK jest brak szczegółowych informacji dotyczących rzeczywistego zużycia energii przez ciężarowe pojazdy elektryczne. Producenci w specyfikacjach technicznych podają pojemność baterii oraz zasięg pojazdu w km na jednym ładowaniu. Na tej podstawie można wyliczyć teoretyczne zużycie energii dzieląc pojemność użytkową baterii przez liczbę km, które pojazd może pokonać na jednym ładowaniu. Tak uzyskany wynik obrazuje zużycie energii na 1 poj.-km. W specyfikacjach technicznych producenci nie podają jednak, w jakich warunkach i przy jakim obciążeniu pojazdy były testowane. Intuicyjnie można się spodziewać, że dane podawane w specyfikacjach technicznych przez producentów są zawyżone. Testy producenckie prowadzone są przy minimalnym załadowaniu. Pojazd pracuje przy wyłączonych światłach i wyłączonej klimatyzacji. Ignorowane są warunki pogodowe, takie jak wiatr, deszcz, wysokie lub niskie temperatury. Ciśnienie w oponach jest na poziomie powyżej zalecanego. Nie bierze się

78 European EV Charging Infrastructure Masterplan, ACEA 2022.

pod uwagę uwarunkowań infrastruktury drogowej, takich jak zakręty i nachylenia. Ignorowane są również takie czynniki jak styl jazdy kierowcy[79].

Mimo dość intensywnego przeglądu literatury technicznej, autorce rozdziału nie udało się znaleźć szerszego opracowania, które w usystematyzowany sposób porównywałoby zużycie energii przez dostawcze i ciężkie pojazdy elektryczne, podając jednocześnie, jak sparametryzowano wzorcowe pojazdy pod względem warunków ruchu i załadowania. W opracowaniach pojawiały się takie parametry jak DMC oraz masa własna pojazdu, ale nie było już informacji istotnej z perspektywy analizy logistycznej, dla jakiego poziomu załadowania wykonano symulacje. Autorka nie natknęła się również na żaden artykuł systematyzujący zagadnienie różnic w ładowności pojazdu (pod względem objętości i masy) w zależności od techniki napędu oraz od warunków ruchu oraz pory roku. Standardowo stosowanych proporcji spalania dla pojazdów o napędzie spalinowym nie można bezpośrednio przenieść na pojazdy o napędzie elektrycznym ze względu na specyfikę rekuperacji energii oraz specyfikę pracy baterii elektrycznej przy obniżonych temperaturach w warunkach zimowych. Spośród przeanalizowanych specyfikacji technicznych pojazdów poszczególnych producentów pewien wgląd w różnice pod względem ładowności pojazdów dostawczych z napędem diesla i pojazdów z napędem elektrycznym dostarczają specyfikacje techniczne Mercedesa. W tabeli 13 przedstawiono zestawienie porównawcze dla pięciu porównywalnych pojazdów, trzech z napędem diesla i dwóch z napędem elektrycznym.

Tabela 13. Parametry pojazdów dostawczych Mercedes (wybranych pojazdów o napędzie spalinowym i pojazdów elektrycznych) zgodnie ze specyfikacją producenta

		Sprinter	Sprinter	Sprinter	eSprinter	eSprinter
Długość/Akumulator		standard	długi	ekstra długi	35 kWh	47 kWh
DMC (dopuszczalna masa całkowita)	kg	3500	3500	3500	3500	3500
Masa własna	kg	2055	2275	2325	2542	2694
Ładowność	kg	945	1144	1130	958	806
Pojemność ładunkowa	m^3	9,50	14,00	15,50	11,00	11,00
Średnie zużycie paliwa (diesel)	l/100 km	9,30	9,50	9,50	-	-
Średnie zużycie energii elektrycznej	kWh/100 km	-	-	-	34,50	35,30

Źródło: https://www.mercedes-benz.pl/vans/pl/model-overview (dostęp: 4.10.2022).

79 M. Dollinger, G. Fischerauer, *Model-Based Range Prediction for Electric Cars and Trucks under Real-World Conditions*, "Energies" 2021, 14.

Ponieważ w badaniu dla pojazdów ciężarowych cytowanym powyżej nie analizowano pojazdów dostawczych, do analizy jako wzorcowy pojazd w grupie pojazdów dostawczych może zostać przyjęty jeden z pojazdów o napędzie diesla z tabeli powyżej. Dla skorygowania specyfikacji producenckiej dla różnych warunków ruchu można przyjąć proporcje obliczone na bazie wyników uzyskanych przez autorów poprzedniego opracowania dla małego pojazdu ciężarowego pomiędzy.

Na podstawie danych zebranych ze specyfikacji technicznych producentów pojazdów elektrycznych zestawiono dane o DMC, ładowności i zużyciu energii elektrycznej pojazdów o zbliżonych parametrach do pojazdów z poprzedniego opracowania. Podano również średnie zużycie energii skorygowane o 10%, 20% i 25%. Parametry te przedstawiono w tabeli 14.

Tabela 14. Parametry komercyjnych pojazdów elektrycznych wybrane do analizy

Typ	J.m.	eSprinter	eSprinter	Volvo FL Electric	Volvo FH Electric
		35 kWh	47 kWh		4×2 tractor trailer
DMC	kg	3500	3500	16 700	44 000
Ładowność	kg	958	806	6700	23 000
Średnie zużycie energii	kWh/poj.-km	0,345	0,353	1,317	1,633
Średnie zużycie energii +10%	kWh/poj.-km	0,380	0,388	1,448	1,797
Średnie zużycie energii +20%	kWh/poj.-km	0,414	0,424	1,580	1,960
Średnie zużycie energii +25%	kWh/poj.-km	0,431	0,441	1,646	2,042

Źródło: specyfikacje producentów pojazdów i obliczenia własne.

Przepisanie wprost danych producenckich do założeń w AKK spowodowałoby przyjęcie założeń na poziomie zaniżonym. Do wykonania analizy można więc przyjąć charakterystykę pojazdów z deklaracji producenckich oraz zestaw współczynników korygujących zużycie teoretyczne do zużycia rzeczywistego. Współczynniki te można uzyskać albo wykonując systematyczne badania faktycznego zużycia energii, albo za pomocą oprogramowania typu VECTO. Aby jednak takie oprogramowanie mogło być wykorzystane do wykonania tego rodzaju wyliczeń, niezbędna jest odpowiednio duża baza danych o zużyciu energii w warunkach rzeczywistych. Również w przypadku modeli teoretycznych, do tego, aby odpowiadały one rzeczywistości, jest potrzebna ich walidacja poprzez wykonanie testu w warunkach rzeczywistych, a następnie dokalibrowanie wyników uzyskanych w modelu matematycznym poprzez korektę parametrów analizy do wyników uzyskanych w rzeczywistości. Dlatego, określając współczynniki korygujące poziom zużycia energii przez pojazdy elektryczne w analizach ekonomicznych, aktualnie można polegać tylko na publikacjach prezentujących wyniki testów w warunkach rzeczywistych.

Opracowania prezentujące wyniki badań zużycia energii przez pojazdy elektryczne w warunkach rzeczywistych potwierdzają zawyżanie zasięgu pojazdu na jednym ładowaniu prezentowane w specyfikacjach technicznych producentów.

W lecie 2021 roku Polskie Stowarzyszenie Paliw Alternatywnych (PSPA) testowało w warunkach operacyjnych na krótkich i dłuższych dystansach średniej wielkości pojazd ciężarowy Volvo FE Electric[80]. Pojazd ten, zgodnie ze specyfikacją techniczną producenta, ma DMC 27 t i maksymalną ładowność 16 t. Moc użytkowa baterii to 265 kWh. Zasięg według deklaracji producenta na pełnym ładowaniu to 200 km. Teoretycznie więc pojazd powinien zużywać 1,33 kWh/poj.-km. Test znacząco zweryfikował dane podawane przez producenta odnoszące się do zasięgu ciężarówki w zależności od jej załadowania w jeździe w warunkach miejskich. Przy załadowaniu na poziomie 6 t, przy pełnym wykorzystaniu przestrzeni ładunkowej, pojazd miał zasięg 157 km. Zużycie energii na 1 poj.-km wynosiło więc aż 1,63 kWh. Jest to wynik o 22,5% wyższy od wartości podanej przez producenta i byłby jeszcze wyższy, jeżeli ładunek w pojeździe byłby cięższy. Poziom zużycia energii deklarowany przez producenta byłby natomiast już osiągnięty przy załadowaniu na poziomie 2 t. Pojazd przetestowano również w warunkach jazdy po autostradzie. Przy załadowaniu 6 t pojazd osiągnął zużycie energii na poziomie deklarowanym w specyfikacjach technicznych przez producenta. Mając na względzie fakt, że ładowność pojazdu wynosi 16 t, wynik podany przez producenta jest prawdziwy dla zaledwie 37,5% wykorzystania ładowności pojazdu pod względem masy ładunku.

M. Dollinger i G. Fischerauer[81] sprawdzili w modelu matematycznym parametry małego pojazdu ciężarowego o DMC 14,7 t. Pojemność baterii wynosiła 120 kWh, pojemność użytkowa – 108 kWh, a zasięg – 255 km. Teoretyczne zużycie energii to 42,75 kWh/100 km. Masa pojazdu poddanego testom wynosiła 4,67 t, w tym ładunek określono jako 1,75 t. Parametry testowe pod względem wykorzystania ładowności pojazdu zostały więc znacząco niedoszacowane. Pojazd był testowany w warunkach pozamiejskich. Model, na którym autorzy wykonali symulacje, został skalibrowany zgodnie z wynikami faktycznie przeprowadzonych testów przy wykorzystaniu trzech pojazdów elektrycznych.

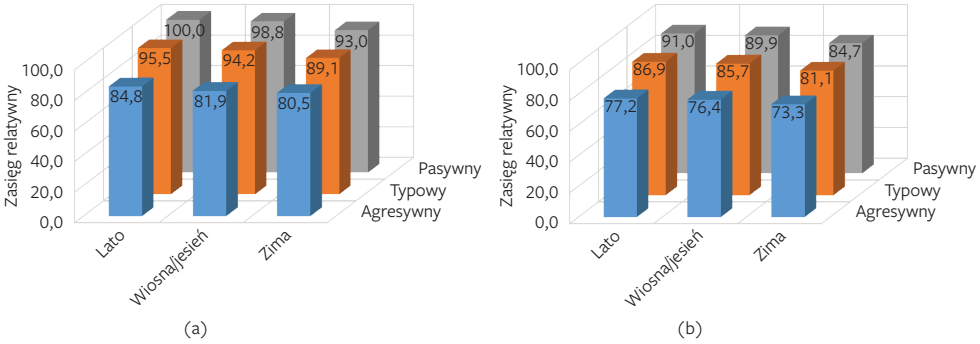
Warunki zimowe obniżają zasięg jazdy na jednym ładowaniu baterii o 9%, jazda w terenie o zmiennych nachyleniach – o 9%, agresywny styl jazdy kierowcy – aż o 17%. Odzyskiwanie energii kinetycznej w elektrycznym układzie napędowym pozwala zwiększyć zasięg pojazdów o około 15%. Zgodnie z deklaracją autorów, analizowali oni jednak rekuperację związaną ze zmianą nachylenia terenu, a nie

80 Pierwszy test komercyjnego wykorzystania seryjnie produkowanej ciężarówki elektrycznej w warunkach polskich, Raport, Polskie Stowarzyszenie Paliw Alternatywnych 2021.

81 M. Dollinger, G. Fischerauer, op. cit.

rekuperację w jeździe w warunkach miejskich z dużą ilością ruszeń i zatrzymań. Wyniki testów wskazują, że rekuperacja przy zjazdach na teren położony niżej nie pozwala na pełne odzyskanie energii straconej na wjazdach na wzniesienia.

Rysunek 17. Faktyczny zasięg pojazdu ciężarowego (RT) wobec deklaracji producenckiej w zależności od sezonu realizacji przejazdu, stylu jazdy kierowcy i nachylenia terenu (a – teren płaski, b – teren górzysty)



Źródło: M. Dollinger, G. Fischerauer, *Model-Based Range Prediction for Electric Cars and Trucks under Real-World Conditions*, "Energies" 2021, 14.

Analiza danych uzyskanych przez autorów wskazuje również na to, że pasywna postawa kierowcy, być może nawet jazda wspomagana, sprzyja oszczędności na zużyciu energii. Jazda w warunkach zimowych konsumuje znacząco więcej energii niż jazda w warunkach letnich. Autorzy wykonali również przegląd literatury technicznej pod kątem porównywalnych badań. Wszystkie badania potwierdziły, że zasięg elektrycznych pojazdów ciężarowych w deklaracjach producenckich jest przeszacowany. Rozstrzał wyników w zakresie tego przeszacowania sięga nawet w niektórych przypadkach 50%.

Wyższe zużycie energii w bateriach elektrycznych w okresie zimowym potwierdzają również inne badania. Możliwe przyczyny to z jednej strony obniżona wydajność baterii przy niższych temperaturach, a z drugiej strony zwiększone zapotrzebowanie na energię przez klimatyzację, światła, wycieraczki lub ogrzewanie szyby przedniej. Zapotrzebowanie na energię w temperaturze poniżej zera może być w pojazdach elektrycznych nawet o 80% wyższe od najniższego zapotrzebowania w warunkach 23–24°C. Jazda w temperaturze pomiędzy 5 a 10°C wiąże się z zapotrzebowaniem wyższym o 40–50% wobec bazowego[82].

82 Ch.M. Vertgewall, M. Trageser, M. Kurth, A. Ulbig, *Modeling Probabilistic Driving and Charging Profiles of Commercial Electric Vehicles*, "Electric Power Systems Research" 2022, 212, s. 108538.

Jak pokazały wyniki testów przytoczone powyżej, określany przez producentów zasięg pojazdu na jednym ładowaniu baterii jest szacowany przy znacząco zaniżonej masie ładunku znajdującego się na pojeździe wobec jego maksymalnej ładowności. Z perspektywy prognozowania emisyjności w transporcie drogowym w ujęciu dynamicznym pod względem rozwoju technologicznego należałoby więc określić scenariusze korekty zużycia energii w zależności do masy ładunku[83]. Korekta taka w bardziej szczegółowej analizie powinna jednak być dostosowana do charakterystyki ładunków w branży, w której jeździ pojazd ciężarowy (stosunek masy do objętości). Kolejna korekta dotyczy warunków jazdy, w których porusza się pojazd. Inne są potrzeby w zakresie osiągów pojazdu dla pojazdów ciężarowych pokonujących trasy długodystansowe na drogach szybkiego ruchu, a inne pojazdów dostawczych, które jeżdżą w warunkach miejskich. Warunki jazdy na drodze szybkiego ruchu to często warunki ruchu swobodnego (*free flow*) lub synchronicznego (*synchronised*), o skrajni poziomej (łukach i zakrętach) pozwalających na zachowanie prędkości jazdy lub tylko niewielkie hamowanie, jeżeli trzeba zmienić kierunek jazdy.

B. Nykvist i O. Olsson[84] zwracają uwagę na zależność pomiędzy ładownością pojazdu a ciężarem baterii. Przy zwiększonej masie ładowność rośnie szybciej niż zużycie energii i waga baterii. Pojazdy elektryczne są jednak bardziej efektywne pod względem zużycia energii niż pojazdy spalinowe. W ruchu swobodnym efektywność energetyczna pojazdu elektrycznego jest 2,5 razy wyższa od pojazdu spalinowego. Proporcja ta rośnie podczas jazdy w warunkach kongestii do 4,2.

Podobne wnioski płyną z przeglądu badań oraz własnych testów wykonanych przez S. Sato i in.[85]. Autorzy przetestowali trzy elektryczne pojazdy ciężarowe, przy czym dwa z nich były to samochody ciężarowe przeznaczone do wykonywania przejazdów zewnętrznych i jeden ciągnik siodłowy do transportu wewnętrznego. Mimo że analiza została opublikowana w tym roku, analizowane pojazdy ciężarowe to pojazdy z roczników 2013–2014. Wskaźniki zużycia energii przez testowane elektryczne pojazdy ciężarowego wahały się od 0,37 do 2,71 kWh/km dla większości kombinacji pojazd/cykl. Jak na standardy w pojazdach produkowanych obecnie jest to dość duże zużycie energii. Z perspektywy tego rozdziału ważny jest jednak wniosek autorów, że pojazdy o dużej ładowności miały około 3 do 6 razy lepsze wskaźniki zużycia energii w porównaniu do porównywalnych pojazdów z silnikiem diesla.

---

83 To samo dotyczy pojazdów o napędzie wodorowym, ponieważ wydajność energetyczna wodoru zarówno wobec masy, jak i wobec objętości jest dużo niższa niż wydajność oleju napędowego. Pojemnik na wodór będzie musiał być w samochodzie większy i cięższy niż bak na paliwo.

84 B. Nykvist, O. Olsson, *The feasibility of heavy battery electric trucks*, "Joule" 2021, 5, s. 901–913.

85 S. Sato, J. Jiang, R.L. Russell, J.W. Miller, G. Karavalakis, T.D. Durbin, K.C. Johnson, *Experimental Driving Performance Evaluation of Battery-powered Medium and Heavy Duty All-electric Vehicles*, "International Journal of Electrical Power & Energy Systems" 2022, vol. 141, October, s. 108100.

Jeżeli zależności te miałyby być uwzględnione w AKK, to niezbędne jest określenie wzorcowych pojazdów oraz wzorcowych poziomów wypełnienia ładunkiem i wykonanie dla nich dokładnej analizy porównawczej zużycia energii w zależności od wszystkich wymienionych powyżej czynników. Jeśli ładunek jest lżejszy niż maksymalna ładowność pojazdu, to nie będą działały pozytywne zależności oparte o zwiększającą się ładowność pojazdu. Wyższa efektywność energetyczna nie będzie też prawdziwa w warunkach ruchu swobodnego, jeśli pojazd będzie jechał z wyższą prędkością zbliżoną do dozwolonego poziomu dla ciężarówek 90 km/h. Rekuperacja energii w ruchu *stop-and-go* będzie natomiast w ruchu miejskim zdecydowanie działała na wyższą efektywność energetyczną pojazdów elektrycznych wobec spalinowych. Efektywność będzie zawsze niższa, im niższe temperatury otoczenia.

Na podstawie informacji przedstawionych powyżej w części obliczeniowej przyjęto eksperckie założenie o podniesieniu na użytek analizy zużycia energii z deklaracji producenckich w scenariuszach o 10%, 20% i 25%.

Dla poprawy wydajności ciężkiego transportu drogowego w oparciu o jedno ładowanie baterii istotne jest zwiększenie efektywności energetycznej baterii (zestawu baterii), a więc zwiększenie dystansu możliwego do pokonania na jednym ładowaniu baterii tej samej wielkości. W zakresie proporcji pomiędzy ładownością pojazdu w metrach sześciennych a ładownością w tonach, pojazdy ciężarowe w warunkach rzeczywistych średnio nie są obciążone tak, aby osiągały poziom DMC. Bateria więc niekoniecznie musi „tracić" na masie. Powinna jednak spadać jej objętość. Przewiduje się[86], że na bazie zmodyfikowanych, ale już istniejących kombinacji różnych pierwiastków w bateriach do roku 2030 najbardziej wydajna bateria osiągnie gęstość energetyczną 500 Wh/kg i 1 200 Wh/dm^3. Jeżeli osiągnięto by przełom w nowatorskich rozwiązaniach technologii baterii, to najbardziej wydajna bateria może osiągnąć gęstość energetyczną na poziomie 1 000 Wh/kg i 2 000 Wh/dm^3. Dla porównania, gęstość energetyczna oleju napędowego to 12 000 Wh/kg i 10 000 Wh/dm^3. Olej napędowy ma więc 24 razy większą gęstość energetyczną na kilogram i 8,3 razy większą gęstość energetyczną na dm^3 wobec prognozowanej gęstości w przypadku pierwszej grupy technologii baterii, oraz 12 razy większą gęstość energetyczną na kilogram i 5 razy większą gęstość energetyczną na dm^3 wobec prognozowanej gęstości w przypadku drugiej grupy technologii baterii. Mając na względzie w/w wyższą efektywność energetyczną pojazdów elektrycznych wobec pojazdów spalinowych, różnice te stają się mniejsze, nawet jeżeli wzięlibyśmy pod uwagę prognozowany wzrost efektywności energetycznej pojazdów spalinowych. Wciąż jednak potrzeb-

86 W. Cao, J. Zhang, H. Li, *Batteries with High Theoretical Energy Densities*, "Energy Storage Materials" 2020, 26, s. 46–55.

ny będzie kompromis pomiędzy zasięgiem na jednym ładowaniu baterii, a wielkością i ciężarem baterii wobec zasięgu pojazdu spalinowego na jednym tankowaniu przy mniejszej wielkości baku i mniejszym ciężarze paliwa.

Dynamika zmian w miksie energetycznym

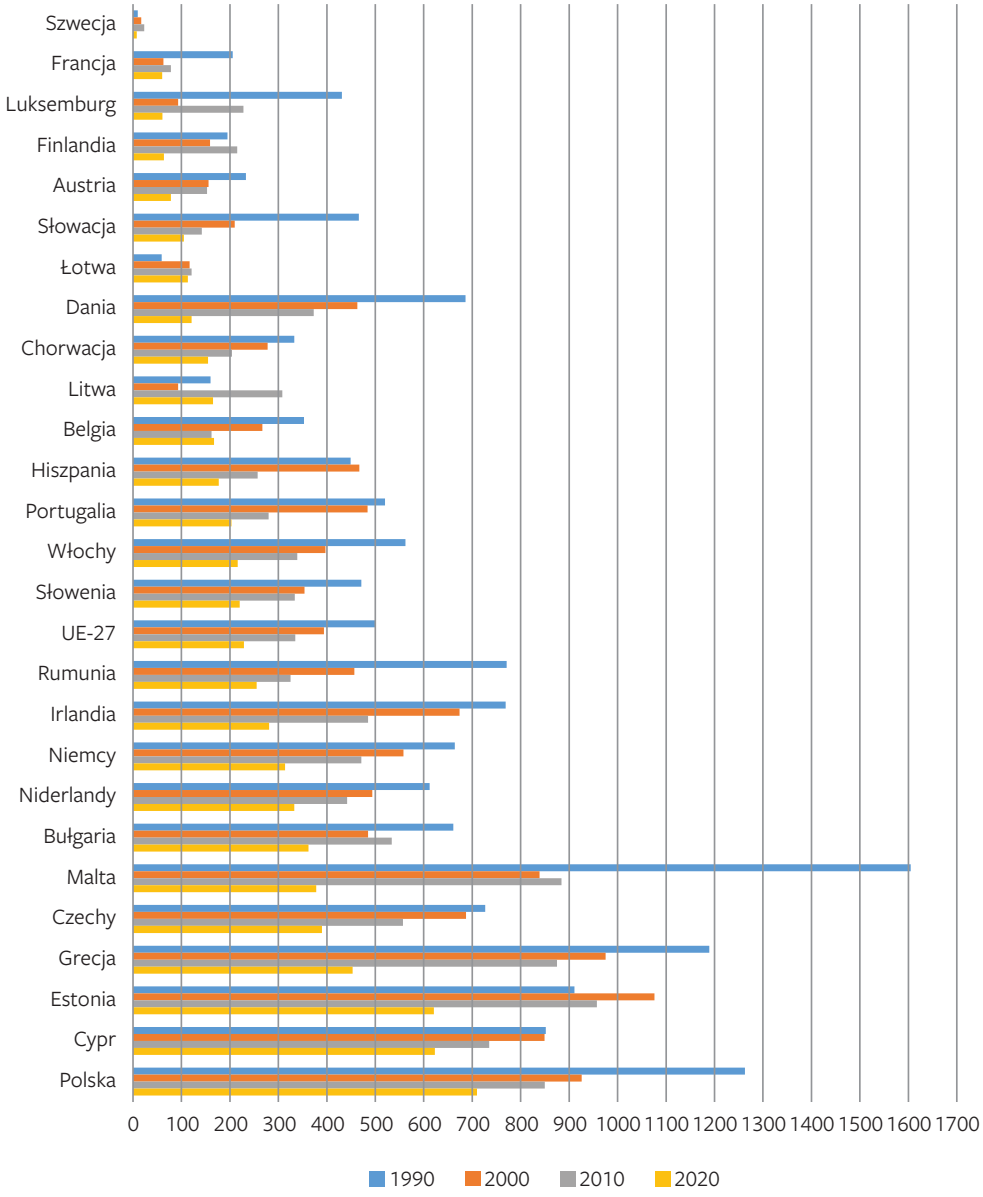
Zróżnicowanie emisyjności systemów energetycznych w poszczególnych państwach europejskich jest duże (por. rysunek 18). W 2020 roku Polska miała najgorszy wynik pod względem emisyjności CO_2 systemu energetycznego w Europie. Jest to przyczyna, dla której tak bardzo istotna jest analiza zmiany w emisyjności miksu energetycznego Polski z punktu widzenia AKK emisyjności CO_2 w branży transportowej i logistycznej w Polsce.

Przyśpieszenie dekarbonizacji polskiego systemu energetycznego wymagać będzie nie tylko postawienia większej liczby elektrowni wiatrowych lub elektrowni słonecznych, ale przede wszystkim wybudowania co najmniej dwóch elektrowni atomowych. Nawet jeżeli plany te zostałyby zrealizowane, to zgodnie z „Polityką energetyczną Polski do roku 2040", w roku 2040 emisyjność polskiego systemu energetycznego wciąż będzie na poziomie 268 g CO_2/kWh.

Z perspektywy analityka wykonującego AKK jest więc w analizie możliwe przyjęcie dwóch scenariuszy. W pierwszym scenariuszu należałoby przyjąć spadek emisyjności do roku 2040 zgodnie z PEP 2040, a następnie ekstrapolować dynamikę spadku emisyjności aż do jej wyzerowania, co w praktyce będzie oznaczało nieosiągnięcie celu bezemisyjności w roku 2050. W drugim scenariuszu należałoby od roku 2040 poprzez interpolację liniową założyć wygaszenie emisyjności do zera w roku 2050 lub, lepiej rozkładając w czasie spadek emisyjności, przyjąć np. od roku 2025 poprzez interpolację do 0 w roku 2050 osiągnięcie przez Polskę bezemisyjności w roku 2050.

Możliwe jest jeszcze jedno rozwiązanie odpowiadające aktualnym tendencjom rynkowym. Biznes logistyczny i transportowy funkcjonuje w oparciu o dużą sieć terminali z dużą powierzchnią dachów, którą można zagospodarować pod farmy fotowoltaiczne. Jeżeli bazy transportowe nie znajdują się blisko budynków mieszkalnych, możliwe jest też zainstalowanie farmy wiatrowej. Możliwe by było doładowywanie pojazdów ciężarowych i pojazdów dostawczych w trakcie załadunku, bądź wyładunku na terminalach logistycznych z własnych instalacji zeroemisyjnych operatorów logistycznych. Można byłoby wtedy założyć, że transport drogowy i logistyka w całości pokrywają zapotrzebowanie na energię z własnej produkcji energii bezemisyjnej lub tylko w niewielkim stopniu, w zależności od potrzeby wspomagając się prądem z publicznego systemu energetycznego.

Rysunek 18. Emisyjność CO_2 w poszczególnych państwach europejskich (ekwiwalent g CO_2/kWh)



Źródło: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity-10/#tab-googlechartid_googlechartid_googlechartid_chart_1111 (dostęp: 4.10.2022).

Szacuje się[87], że zgodnie z zapotrzebowaniem na ładowanie w systemie logistycznym pojazdów ciężarowych, 84% punktów ładowania pojazdów ciężarowych mogłoby znajdować się w terminalach logistycznych. Ze statystyk wynika, że w Europie zaledwie 5% podróży źródło-cel w towarowym transporcie drogowym to podróże powyżej 300 km. W przypadku pojazdów dostawczych ładowanie w bazach transportowych lub terminalach logistycznych będzie mogło się odbywać w 56%. Małe samochody dostawcze mogą być również ładowane przez ich właścicieli w domach. Byłoby to około 24% wszystkich ładowań. Na użytek analiz kosztów i korzyści można więc byłoby przyjąć scenariusz, że, na przykład, począwszy od roku 2025 z poziomu 0 do roku 2035 do poziomu 84% (interpolacja linowa) wzrastać będzie liczba ładowań w bazach transportowych lub w terminalach logistycznych na bazie energii bezemisyjnej. Pozostałe ładowania będą miały miejsce w sieci publicznej. Jeżeli wyliczenia miałyby być zrobione dla zdefiniowanych długości tras podróży, to poziom tego doładowania należałoby określać zgodnie z liczbą doładowań, która będzie niezbędna na całej trasie podróży. Dla trasy 700 km, przy aktualnym zasięgu pojazdów elektrycznych, tylko około 30 do 40% energii mogłoby zostać naładowane w terminalu logistycznym będącym miejscem nadania przesyłki.

3.4. Założenia i wyniki testowej analizy emisyjności CO_2 w ujęciu dynamicznym

Informacje i dane zaprezentowane powyżej zostały wykorzystane do wykonania testowej AKK. Analiza ma charakter modelowy i jest prowadzona przy zastosowaniu zasady *ceteris paribus*. Nie są w niej analizowane i monetyzowane inne aspekty zagadnienia konwersji taboru drogowego z taboru o napędzie spalinowym na tabor o napędzie elektrycznym. Przeanalizowano, od kiedy, w kontekście zapóźnień w transformacji energetycznej Polski, będzie miała sens wymiana pojazdu ciężarowego na pojazd elektryczny, mając na względzie emisyjność CO_2 pojazdu przez cały okres jego żywotności.

Założono, że wykonujemy przewóz pojazdem ciężarowym RT i TT na odległość 700 km. Pojazd pokonuje tę odległość w tę i z powrotem przez 3 dni od poniedziałku do soboty z pominięciem dni świątecznych. Tak ustawione założenia generują roczny przebieg pojazdu na poziomie bliskim 141 tys. km rocznie. W przypadku pojazdu RT ładunek reprezentatywny waży 3 t, a w przypadku TT ładunek reprezentatywny waży 19,3 t. Ze względu na brak danych dotyczących zużycia energii

87 European EV Charging Infrastructure Masterplan, op.cit.

przez ciężarowe pojazdy elektryczne w zależności od załadowania, w analizie nie uwzględniono przebiegów pustych. Dla pojazdów z napędem spalinowym przyjęto, że RT wykonuje podróż po drogach szybkiego ruchu i innych zamiejskich, a TT podróż głównie po drogach szybkiego ruchu. W związku z brakiem danych dotyczących zużycia energii przez pojazdy elektryczne w zależności od masy ładunku, zużycie energii pojazdów ciężarowych policzono biorąc za podstawę wycenę producencką ze specyfikacji technicznych i licząc rzeczywiste spalanie porównawczo w 3 scenariuszach plus 10%, 20% i 25% wobec wartości producenckiej.

W przypadku pojazdów z napędem spalinowym założono dynamiczny scenariusz postępu technicznego zgodnie z opracowaniem O. Delgado i in.[88]. Od roku 2016 do roku 2030 zastosowano średnioroczny spadek zużycia paliwa na poziomie 3,6%. W dalszym okresie zużycie paliwa przyjęto na stałym poziomie, zakładając, że od roku 2030 zintensyfikuje się wymiana pojazdów ciężarowych z pojazdów o napędzie spalinowym na pojazdy o napędzie elektrycznym, a zatrzyma postęp techniczny w zakresie rozwoju technologii spalinowych. Tak zestawione tablice należy traktować jako odnoszące się tylko do samochodów wprowadzanych na rynek w danym roku. Kupując pojazd ciężarowy w danym roku, kupujemy pojazd na najniższym osiągalnym w tym roku poziomie spalania paliwa w danej grupie pojazdów.

Dynamicznie w analizie ujęto zmiany w miksie energetycznym oraz wprowadzono opcję polegającą na ładowaniu 40% energii elektrycznej potrzebnej do wykonania przewozu bezpośrednio w miejscu nadania ładunku na terenie terminala operatora logistycznego.

Zmiany w miksie energetycznym z publicznej sieci energetycznej ujęto w dwóch scenariuszach. Pierwszy scenariusz zakłada zmiany w miksie energetycznym zgodnie z polityką energetyczną, a następnie od roku 2040 do 2050 i kolejnych wprowadzono dynamikę zmian podobną do dynamiki w latach wcześniejszych. Oznacza to w praktyce, że w roku 2050 polski system energetyczny wciąż nie jest bezemisyjny. W drugim scenariuszu założono, że emisyjność CO_2 jest zgodna z założeniami politycznymi tylko do roku 2025. Potem poprzez interpolację zmniejsza się do zera w roku 2050. Scenariusz drugi przyśpiesza więc dojście przez Polskę do zeroemisyjności systemu energetycznego. Wadą tego scenariusza jest to, że uśrednia on w latach tempo transformacji energetycznej i nie uwzględnia skokowych zmian wynikających z włączenia do użytkowania elektrowni atomowych.

W ten sposób skonstruowane założenia dają łącznie 13 dynamicznych scenariuszy emisyjności CO_2 przykładowego procesu transportowego wykonywanego dwoma rodzajami pojazdów ciężarowych RT i TT. Przy założeniu 18-letniego okre-

88 O. Delgado, F. Rodriguez, R. Muncrief, op. cit.

su użytkowania pojazdu ciężarowego, wykonano symulacje dla kilku scenariuszy w zależności od roku zakupu pojazdu (2022, 2025, 2030, 2035, 2040) obliczając sumę emisji CO_2 w każdym scenariuszu dla całego okresu użytkowania pojazdu.

Z perspektywy ekonomiki transportu nie jest istotna sama wielkość emisji CO_2, ale jej wartość wyrażona w pieniądzu. Do monetyzacji efektów zewnętrznych z tytułu emisji CO_2 wykorzystano w/w wycenę EBI. Wycena oryginalnie została wykonana w euro. Na użytek tej analizy nie została skonwertowana na polski złoty ze względu na zakłócenia, które może wywołać zmienność kursu walutowego. W przypadku emisji CO_2 nie istnieje potrzeba korygowania wyceny międzynarodowej o parytet siły nabywczej. Wycenę międzynarodową innych efektów zewnętrznych zazwyczaj koryguje się ze względu na ich skutek lokalny. Emisje CO_2 nie znają natomiast granic. Skutki emisji w Polsce mogą być odczuwalne zarówno w Polsce, jak i w innych krajach na całym świecie.

Kolejnym krokiem było obliczenie wartości bieżącej netto zmonetyzowanych emisji. Uwzględniono więc wartość pieniądza w czasie. Dyskontowanie wykonano każdorazowo na rok zakupu pojazdu dla 18-letniego okresu użytkowania pojazdu. Zastosowano poziom ekonomicznej stopy dyskontowej zgodnie z wytycznymi KE dla Polski na poziomie 3%[89].

Wyniki analizy przedstawiono w kolejnych tabelach. Na wyniki analizy bezpośrednio w arkuszu kalkulacyjnym nałożono makra wskazujące kolorami najlepsze i najgorsze wyniki.

Tabela 15. Emisyjność CO_2 przewozu wykonywanego pojazdem ciężarowym o średniej ładowności (RT) w zależności od scenariuszy rozwoju technicznego (t CO_2/przebieg w całym okresie użytkowania pojazdu)

		2022	2025	2030	2035	2040
door-to-door RT diesel bez zmian technologicznych	t CO_2 przez 18 lat	1 114 406	1 114 406	1 114 406	1 114 406	1 114 406
door-to-door RT diesel ze zmianami technologicznymi	t CO_2 przez 18 lat	921 528	884 024	857 235	857 235	857 235
door-to-door RT elektryczny +10% FC PEP 2040	t CO_2 przez 18 lat	1 551 994	1 380 167	1 025 369	676 122	371 496
door-to-door RT elektryczny +20% FC PEP 2040	t CO_2 przez 18 lat	1 693 085	1 505 637	1 118 584	737 588	405 268
door-to-door RT elektryczny +25% FC PEP 2040	t CO_2 przez 18 lat	1 763 630	1 568 372	1 165 192	768 320	422 154

89 W tym kontekście należy rozróżniać pojęcie finansowej stopy dyskontowej i ekonomicznej stopy dyskontowej.

cd. tabeli 15

		2022	2025	2030	2035	2040
door-to-door RT elektryczny +10% FC PEP 2040 & 40%″0″	t CO_2 przez 18 lat	931 197	828 100	615 221	405 673	222 897
door-to-door RT elektryczny +20% FC PEP 2040 & 40%″0″	t CO_2 przez 18 lat	1 015 851	903 382	671 150	442 553	243 161
door-to-door RT elektryczny +25% FC PEP 2040 & 40%″0″	t CO_2 przez 18 lat	1 058 178	941 023	699 115	460 992	253 292
door-to-door RT elektryczny +10% FC PEP 2040P	t CO_2 przez 18 lat	1 441 607	1 234 288	860 261	498 702	228 572
door-to-door RT elektryczny +20% FC PEP 2040P	t CO_2 przez 18 lat	1 572 662	1 346 496	938 467	544 039	249 351
door-to-door RT elektryczny +25% FC PEP 2040P	t CO_2 przez 18 lat	1 638 190	1 402 600	977 570	566 707	259 741
door-to-door RT elektryczny +10% FC PEP 2040P & 40%″0″	t CO_2 przez 18 lat	864 964	740 573	516 157	299 221	137 143
door-to-door RT elektryczny +20% FC PEP 2040P & 40%″0″	t CO_2 przez 18 lat	943 597	807 898	563 080	326 423	149 611
door-to-door RT elektryczny +25% FC PEP 2040P & 40%″0″	t CO_2 przez 18 lat	982 914	841 560	586 542	340 024	155 844

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 16. Zmonetyzowana emisyjność CO_2 przewozu wykonywanego pojazdem ciężarowym o średniej ładowności (RT) w zależności od scenariuszy rozwoju technicznego (EUR/przebieg w całym okresie użytkowania pojazdu, wartości dyskontowane)

		2022	2025	2030	2035	2040
door-to-door RT diesel bez zmian technologicznych	EUR przez 18 lat	306 300 898	370 850 212	486 032 575	581 432 294	647 583 033
door-to-door RT diesel ze zmianami technologicznymi	EUR przez 18 lat	248 599 772	291 821 454	373 871 212	447 255 611	498 140 794
door-to-door RT elektryczny +10% FC PEP 2040	EUR przez 18 lat	409 020 411	440 499 267	432 317 331	352 455 000	230 286 978
door-to-door RT elektryczny +20% FC PEP 2040	EUR przez 18 lat	446 204 085	480 544 654	471 618 907	384 496 364	251 222 158

		2022	2025	2030	2035	2040
door-to-door RT elektryczny +25% FC PEP 2040	EUR przez 18 lat	464 795 922	500 567 348	491 269 694	400 517 045	261 689 748
door-to-door RT elektryczny +10% FC PEP 2040 & 40%"0"	EUR przez 18 lat	245 412 247	264 299 560	259 390 399	211 473 000	138 172 187
door-to-door RT elektryczny +20% FC PEP 2040 & 40%"0"	EUR przez 18 lat	267 722 451	288 326 793	282 971 344	230 697 818	150 733 295
door-to-door RT elektryczny +25% FC PEP 2040 & 40%"0"	EUR przez 18 lat	278 877 553	300 340 409	294 761 817	240 310 227	157 013 849
door-to-door RT elektryczny +10% FC PEP 2040P	EUR przez 18 lat	375 148 808	389 327 516	360 266 850	259 941 482	143 942 403
door-to-door RT elektryczny +20% FC PEP 2040P	EUR przez 18 lat	409 253 245	424 720 927	393 018 382	283 572 526	157 028 076
door-to-door RT elektryczny +25% FC PEP 2040P	EUR przez 18 lat	426 305 464	442 417 632	409 394 148	295 388 047	163 570 913
door-to-door RT elektryczny +10% FC PEP 2040P & 40%"0"	EUR przez 18 lat	225 089 285	233 596 510	216 160 110	155 964 889	86 365 442
door-to-door RT elektryczny +20% FC PEP 2040P & 40%"0"	EUR przez 18 lat	245 551 947	254 832 556	235 811 029	170 143 515	94 216 846
door-to-door RT elektryczny +25% FC PEP 2040P & 40%"0"	EUR przez 18 lat	255 783 278	265 450 579	245 636 489	177 232 828	98 142 548

Źródło: opracowanie własne.

Uzyskane wyniki wskazują, że jeżeli w roku 2022 przedsiębiorstwo chciałoby zainwestować w nowy pojazd ciężarowy, mając na względzie aspekty emisyjności CO_2 i przeciwdziałanie zmianom klimatu, to przy aktualnym miksie energetycznym Polski oraz tempie jego zmian przez cały okres użytkowania pojazdu, lepszym rozwiązaniem jest inwestycja w nowoczesny pojazd ciężarowy o napędzie spalinowym, zarówno mając na względzie bezwzględny poziom emisji CO_2 (t), jak i szkodliwość emisji wyrażoną w wartościach pieniężnych (EUR).

Planując inwestycje w latach 2030–2035, można już brać pod uwagę wybór pomiędzy pojazdem o napędzie spalinowym a pojazdem o napędzie elektrycznym. Jednak, aby wskazać, które z rozwiązań jest bardziej ekologiczne, należałoby ustalić,

jakie jest faktyczne zużycie energii elektrycznej przez pojazd ciężarowy wobec deklaracji producenckiej oraz w zależności od warunków ruchu.

Jeżeli tempo zmian w ogólnym miksie energetycznym Polski byłoby wyższe, to taki wybór przedsiębiorstwo powinno podjąć już w roku 2030, z zastrzeżeniem o różnicy pomiędzy wyceną ilościową a wyceną w pieniądzu.

Jeżeli istniałaby możliwość generacji przez operatorów logistycznych własnej bezemisyjnej energii i zaspokojenie w co najmniej 40% zużycia energii przez pojazd ciężarowy z energii odnawialnej, to inwestycja miałaby sens w 2022 roku, jednak tylko przy przyśpieszonym tempie zmian w miksie energetycznym Polski.

Opóźnienie inwestycji o kilka lat, na przykład, na okres 2024–2025 pozwoliłoby również, przy aktualnie planowanym tempie zmian miksu energetycznego, uzyskać relatywne korzyści ekonomiczne z inwestycji w tabor bezemisyjny i własne instalacje fotowoltaiczne. Różnice pomiędzy emisyjnością pojazdu spalinowego nowej generacji a pojazdu napędzanego elektrycznie nie są jednak duże. Jak powiedziano powyżej, ustalenie faktycznych zależności wymaga szczegółowej analizy zużycia energii wobec deklaracji producenckich. Uzyskanie bezspornych korzyści będzie dopiero możliwe, jeżeli inwestycja opóźni się o kolejne kilka lat i będzie wykonana pomiędzy rokiem 2025 a 2030.

Powyższy rachunek będzie wyglądał inaczej, jeśli wartości przedstawione w tabelach skonfrontujemy z wydatkami przedsiębiorstwa na tabor i instalację fotowoltaiczną. Dlatego powyżej jest mowa o relatywnych korzyściach ekonomicznych. W praktyce analiz do wykonania AKK z perspektywy przedsiębiorstwa inwestującego tabor, obliczenia te należałoby nałożyć na projekcie finansowe, a następnie obliczyć zagregowaną ekonomiczną stopę zwrotu z inwestycji.

Poniżej przedstawiono analogiczną symulację wykonaną dla pojazdu ciężarowego o dużej ładowności.

Tabela 17. Emisyjność CO_2 przewozu wykonywanego pojazdem ciężarowym o dużej ładowności (TT) w zależności od scenariuszy rozwoju technicznego (t CO_2/przebieg w całym okresie użytkowania pojazdu)

		2022	2025	2030	2035	2040
door-to-door TT diesel bez zmian technologicznych	t CO_2 przez 18 lat	1 769 787	1 769 787	1 769 787	1 769 787	1 769 787
door-to-door TT diesel ze zmianami technologicznymi	t CO_2 przez 18 lat	1 388 965	1 314 917	1 262 025	1 262 025	1 262 025
door-to-door TT elektryczny +10% FC PEP 2040	t CO_2 przez 18 lat	1 925 259	1 712 106	1 271 976	838 734	460 843
door-to-door TT elektryczny +20% FC PEP 2040	t CO_2 przez 18 lat	2 100 282	1 867 752	1 387 610	914 982	502 737

		2022	2025	2030	2035	2040
door-to-door TT elektryczny +25% FC PEP 2040	t CO_2 przez 18 lat	2 187 794	1 945 575	1 445 428	953 106	523 685
door-to-door TT elektryczny +10% FC PEP 2040 & 40%"0"	t CO_2 przez 18 lat	1 155 155	1 027 264	763 186	503 240	276 506
door-to-door TT elektryczny +20% FC PEP 2040 & 40%"0"	t CO_2 przez 18 lat	1 260 169	1 120 651	832 566	548 989	301 642
door-to-door TT elektryczny +25% FC PEP 2040 & 40%"0"	t CO_2 przez 18 lat	1 312 676	1 167 345	867 257	571 864	314 211
door-to-door TT elektryczny +10% FC PEP 2040P	t CO_2 przez 18 lat	1 788 323	1 531 142	1 067 160	618 643	283 545
door-to-door TT elektryczny +20% FC PEP 2040P	t CO_2 przez 18 lat	1 950 897	1 670 337	1 164 174	674 884	309 322
door-to-door TT elektryczny +25% FC PEP 2040P	t CO_2 przez 18 lat	2 032 185	1 739 934	1 212 681	703 004	322 210
door-to-door TT elektryczny +10% FC PEP 2040P & 40%"0"	t CO_2 przez 18 lat	1 072 994	918 685	640 296	371 186	170 127
door-to-door TT elektryczny +20% FC PEP 2040P & 40%"0"	t CO_2 przez 18 lat	1 170 538	1 002 202	698 504	404 930	185 593
door-to-door TT elektryczny +25% FC PEP 2040P & 40%"0"	t CO_2 przez 18 lat	1 219 311	1 043 960	727 609	421 802	193 326

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 18. Zmonetyzowana emisyjność CO_2 przewozu wykonywanego pojazdem ciężarowym o dużej ładowności (TT) w zależności od scenariuszy rozwoju technicznego (EUR/przebieg w całym okresie użytkowania pojazdu, wartości dyskontowane)

		2022	2025	2030	2035	2040
door-to-door TT diesel bez zmian technologicznych	EUR przez 18 lat	486 436 014	588 946 687	771 867 631	923 371 787	835 130 367
door-to-door TT diesel ze zmianami technologicznymi	EUR przez 18 lat	372 509 949	432 910 991	550 414 366	658 451 108	733 364 434
door-to-door TT elektryczny +10% FC PEP 2040	EUR przez 18 lat	507 392 409	546 442 128	536 292 385	437 222 658	285 672 454
door-to-door TT elektryczny +20% FC PEP 2040	EUR przez 18 lat	553 518 991	596 118 685	585 046 238	476 970 173	311 642 677

cd. tabeli 18

		2022	2025	2030	2035	2040
door-to-door TT elektryczny +25% FC PEP 2040	EUR przez 18 lat	576 582 283	620 956 964	609 423 165	496 843 930	324 627 789
door-to-door TT elektryczny +10% FC PEP 2040 & 40%″0″	EUR przez 18 lat	304 435 445	327 865 277	321 775 431	262 333 595	171 403 473
door-to-door TT elektryczny +20% FC PEP 2040 & 40%″0″	EUR przez 18 lat	332 111 395	357 671 211	351 027 743	286 182 104	186 985 606
door-to-door TT elektryczny +25% FC PEP 2040 & 40%″0″	EUR przez 18 lat	345 949 370	372 574 178	365 653 899	298 106 358	194 776 673
door-to-door TT elektryczny +10% FC PEP 2040P	EUR przez 18 lat	465 374 471	482 963 248	446 913 308	322 459 053	178 561 462
door-to-door TT elektryczny +20% FC PEP 2040P	EUR przez 18 lat	507 681 241	526 868 998	487 541 790	351 773 513	194 794 322
door-to-door TT elektryczny +25% FC PEP 2040P	EUR przez 18 lat	528 834 626	548 821 873	507 856 031	366 430 742	202 910 752
door-to-door TT elektryczny +10% FC PEP 2040P & 40%″0″	EUR przez 18 lat	279 224 683	289 777 949	268 147 985	193 475 432	107 136 877
door-to-door TT elektryczny +20% FC PEP 2040P & 40%″0″	EUR przez 18 lat	304 608 745	316 121 399	292 525 074	211 064 108	116 876 593
door-to-door TT elektryczny +25% FC PEP 2040P & 40%″0″	EUR przez 18 lat	317 300 776	329 293 124	304 713 619	219 858 445	121 746 451

Źródło: opracowanie własne.

W kolejnych tabelach przedstawiono średnioroczny dla całego okresu użytkowania pojazdu koszt emisji CO_2 w EUR przewiezienia 1 tony ładunku na odległość 1 km (koszt 1 netto tkm) w średniej wielkości pojeździe ciężarowym i dużym pojeździe ciężarowym.

Wyniki analizy potwierdzają główną zasadę ekonomiki transportu – konsolidacja ładunków na dłuższych odległościach znacząco obniża koszt przewiezienia 1 t ładunku. W 2022 roku przy aktualnym miksie energetycznym Polski oraz 40% udziale doładowywania pojazdów ciężarowych na bazie własnej energii fotowoltaicznej, można mieć wątpliwości co do konkurencyjności pod względem emisyjności procesu przewozowego pojazdem elektrycznym wobec pojazdu spalinowego. Jednak przewóz dużym pojazdem ciężarowym jest już bezspornie konkurencyjny.

Bez prywatnego doładowywania pojazdów ciężarowych własną energią elektryczną i korzystania tylko z publicznej sieci energetycznej, przewóz pojazdem ciężarowym elektrycznym średniej wielkości przy przyjętych założeniach nie będzie konkurencyjny wobec pojazdu o napędzie spalinowym w 2030 roku, ale będzie już konkurencyjny, jeśli będzie wykonany dużym pojazdem ciężarowym.

Tabela 19. Zmonetyzowana emisyjność CO_2 przewozu wykonywanego pojazdem ciężarowym o średniej ładowności (RT) w zależności od scenariuszy rozwoju technicznego (EUR średnio na tonę w 18 letnim okresie użytkowania bez dyskontowania)

		2022	2025	2030	2035	2040
door-to-door RT diesel bez zmian technologicznych	EUR przez 18 lat	55,66	66,92	86,70	102,28	112,37
door-to-door RT diesel ze zmianami technologicznymi	EUR przez 18 lat	44,71	52,40	66,69	78,68	86,44
door-to-door RT elektryczny +10% FC PEP 2040	EUR przez 18 lat	72,11	76,53	72,68	57,23	35,54
door-to-door RT elektryczny +20% FC PEP 2040	EUR przez 18 lat	78,66	83,49	79,29	62,44	38,77
door-to-door RT elektryczny +25% FC PEP 2040	EUR przez 18 lat	81,94	86,97	82,59	65,04	40,38
door-to-door RT elektryczny +10% FC PEP 2040 & 40%"0"	EUR przez 18 lat	43,26	45,92	43,61	34,34	21,32
door-to-door RT elektryczny +20% FC PEP 2040 & 40%"0"	EUR przez 18 lat	47,20	50,09	47,57	37,46	23,26
door-to-door RT elektryczny +25% FC PEP 2040 & 40%"0"	EUR przez 18 lat	49,16	52,18	49,55	39,02	24,23
door-to-door RT elektryczny +10% FC PEP 2040P	EUR przez 18 lat	65,59	66,94	59,83	40,80	21,36
door-to-door RT elektryczny +20% FC PEP 2040P	EUR przez 18 lat	71,55	73,03	65,27	44,51	23,30
door-to-door RT elektryczny +25% FC PEP 2040P	EUR przez 18 lat	74,53	76,07	67,99	46,37	24,27
door-to-door RT elektryczny +10% FC PEP 2040P & 40%"0"	EUR przez 18 lat	39,35	40,17	35,90	24,48	12,81
door-to-door RT elektryczny +20% FC PEP 2040P & 40%"0"	EUR przez 18 lat	42,93	43,82	39,16	26,71	13,98
door-to-door RT elektryczny +25% FC PEP 2040P & 40%"0"	EUR przez 18 lat	44,72	45,64	40,79	27,82	14,56

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 20. Zmonetyzowana emisyjność CO_2 przewozu wykonywanego pojazdem ciężarowym o dużej ładowności (TT) w zależności od scenariuszy rozwoju technicznego (EUR średnio na tonę w 18 letnim okresie użytkowania bez dyskontowania)

		2022	2025	2030	2035	2040
door-to-door TT diesel bez zmian technologicznych	EUR przez 18 lat	13,74	16,52	21,40	25,25	21,31
door-to-door TT diesel ze zmianami technologicznymi	EUR przez 18 lat	10,38	12,06	15,26	18,00	19,78
door-to-door TT elektryczny +10% FC PEP 2040	EUR przez 18 lat	13,90	14,76	14,01	11,04	6,85
door-to-door TT elektryczny +20% FC PEP 2040	EUR przez 18 lat	15,17	16,10	15,29	12,04	7,48
door-to-door TT elektryczny +25% FC PEP 2040	EUR przez 18 lat	15,80	16,77	15,93	12,54	7,79
door-to-door TT elektryczny +10% FC PEP 2040 & 40%″0″	EUR przez 18 lat	8,34	8,85	8,41	6,62	4,11
door-to-door TT elektryczny +20% FC PEP 2040 & 40%″0″	EUR przez 18 lat	9,10	9,66	9,17	7,22	4,49
door-to-door TT elektryczny +25% FC PEP 2040 & 40%″0″	EUR przez 18 lat	9,48	10,06	9,56	7,52	4,67
door-to-door TT elektryczny +10% FC PEP 2040P	EUR przez 18 lat	12,65	12,91	11,54	7,87	4,12
door-to-door TT elektryczny +20% FC PEP 2040P	EUR przez 18 lat	13,80	14,08	12,59	8,58	4,49
door-to-door TT elektryczny +25% FC PEP 2040P	EUR przez 18 lat	14,37	14,67	13,11	8,94	4,68
door-to-door TT elektryczny +10% FC PEP 2040P & 40%″0″	EUR przez 18 lat	7,59	7,74	6,92	4,72	2,47
door-to-door TT elektryczny +20% FC PEP 2040P & 40%″0″	EUR przez 18 lat	8,28	8,45	7,55	5,15	2,70
door-to-door TT elektryczny +25% FC PEP 2040P & 40%″0″	EUR przez 18 lat	8,62	8,80	7,87	5,36	2,81

Źródło: opracowanie własne.

3.5. Podsumowanie

Spośród aktualnych trendów w postępie technicznym i ich wpływu na emisyjność CO_2 na bazie wyżej wymienionych obliczeń za *game changer* można uznać możliwości w zakresie obniżenia zużycia paliwa przez pojazdy napędzane spali-

nowo. Nieuwzględnienie tego aspektu w analizie prowadziłoby do innych wniosków, jeżeli chodzi o lata, w których w warunkach polskich istniałaby zasadność konwersji z pojazdów ciężarowych spalinowych na elektryczne wynikająca z celów klimatycznych.

Nawet bez wykonania szczegółowych analiz można stwierdzić, że w przypadku państw o korzystnym miksie energetycznym pod względem emisyjności z perspektywy kosztów tej emisyjności ma sens już od najbliższych lat wprowadzanie do obrotu pojazdów ciężarowych o napędzie elektrycznym. Jak pokazano na rysunku 18, w Europie jest kilka państw, które już dzisiaj mają emisyjność systemu energetycznego na poziomie, do którego Polska w swoich dokumentach politycznych zobowiązuje się dopiero w roku 2040. W przypadku Polski przy aktualnym miksie energetycznym i planowanym tempie jego rozwoju, ma sens jeszcze przez kilka lat inwestowanie w nowoczesne pojazdy ciężarowe spalinowe. Chodzi o pojazdy, w których ich producenci wykorzystają aktualne możliwości w zakresie obniżania spalania przez nie paliwa.

AKK nie jest tak restrykcyjna pod względem przyjmowanych wartości, jak analiza finansowa. Dość często, trzeba przyjmować założenia scenariuszowe, bo trudno jest ustalić jak wycena danego efektu mogłaby się kształtować w rzeczywistości.

W analizie wykonanej na użytek tego opracowania posłużono się trzema scenariuszami skali niedoszacowania zużycia paliwa przez pojazdy elektryczne przez producentów i łącznie 14 scenariuszami dynamiki rozwoju technicznego w transporcie drogowym w kilku jego aspektach. W pierwszych latach analizy trudno jest precyzyjnie podać odpowiedź, które z rozwiązań jest lepsze pod względem emisyjności CO_2 – pojazdy napędzane elektrycznie czy pojazdy napędzane spalinowo. Należałoby zebrać bardziej precyzyjne dane i przeprowadzić bardziej szczegółowe symulacje. Jednak można wskazać, od kiedy, jeżeli udałoby się pokonać różnego rodzaju przeszkody techniczne i organizacyjne, bezspornie ma sens ekonomiczny konwersja z pojazdów o napędzie spalinowym na pojazdy o napędzie elektrycznym. Nawet w kraju o zapóźnieniach w zakresie konwersji systemu energetycznego ku bezemisyjności, przewóz 1 t ładunku będzie bardziej efektywny pod kątem emisyjności CO_2 pojazdem elektrycznym niż pojazdem spalinowym, jeżeli konwersja rozpocznie się w roku 2035.

Rachunek mógłby ulec zmianie, jeżeli uwzględnilibyśmy również emisyjność CO_2 przy produkcji pojazdów i baterii. Aby to zrobić, nie wystarczy jednak analiza aktualnej i przyszłej emisyjności przy produkcji baterii w znanych nam technologiach. Badania i rozwój nad bateriami nie tylko uwzględniają wzrost ich wydajności, ale również podejmowane są próby wykorzystania w nich alternatywnych substancji, wobec stosowanych aktualnie. Analizując scenariusze rozwoju baterii, należałoby

również zbadać, jak kształtowałaby się emisyjność w cyklu życia pojazdu ciężarowego, gdyby udało się wdrożyć produkcję baterii opartych na alternatywnych technologiach i alternatywnych substancjach. Analiza taka kwalifikuje się już jako AKK uwzględniająca cykl życia pojazdów wykorzystywanych w transporcie towarowym, dodając do analizy okresu eksploatacji analizę w okresie wytworzenia.

4

TECHNOLOGIE CYFROWE W ŁAŃCUCHACH DOSTAW O OBIEGU ZAMKNIĘTYM

Jacek Styś

4.1. Wprowadzenie

W celu zbadania zastosowania technologii cyfrowych w zarządzaniu i ŁDOZ dokonano przeglądu literatury. Dla identyfikacji problematyki w obszarze łańcuchów dostaw przeanalizowano publikacje dostępne w bazach danych Ebsco, Emerald, Scopus, WoS, opublikowane w okresie od 2018 do połowy 2022 roku. Kluczem doboru publikacji były hasła: „*Digital Technologies*" *AND* (*„Circular Economy" OR „Supply Chains" OR „Supply Chain Management" OR „Circular Supply Chain" OR „Closed-loop Supply Chain"*), z obszaru tematycznego „*Business, Management and Accounting*". W efekcie wyłoniono 371 publikacji do dalszej analizy w ramach realizacji celu badawczego.

Uważa się, że technologie cyfrowe w połączeniu z innowacyjnymi modelami biznesowymi zapewniają rozwiązania wielu problemów współczesnego świata, poprzez znaczący udział w przekształcaniu dotychczasowej gospodarki w GOZ[90].

W pracach naukowych opublikowanych po 2018 roku, które dotyczą zastosowania technologii cyfrowych w zarządzaniu, najczęściej wymienia się, jako najbardziej obiecujące: *blockchain*, przetwarzanie i przechowywanie danych w chmurze obliczeniowej, sztuczną inteligencję, technologie *big data*, uczenie maszynowe, analitykę

[90] C. Chauhan, V. Parida, A. Dhir, *Linking Circular Economy and Digitalisation Technologies: A Systematic Literature Review of Past Achievements and Future Promises*, "Technological Forecasting & Social Change" 2022, vol. 177, s. 2.

danych i *data mining*, Internet Rzeczy (IoT), a także: *digital twins*, rzeczywistość wirtualną (VR) i rozszerzoną (AR) oraz druk 3D.

4.2. Technologie cyfrowe w zarządzaniu

Poniżej zostały przedstawione kluczowe technologie cyfrowe wspierające procesy zarządzania. Należą do nich *blockchain*, Internet Rzeczy i chmura obliczeniowa.

Blockchain to łańcuch połączonych ze sobą bloków danych. W standardowych aplikacjach dane w blokach zawierają kryptograficzny „odcisk palca" wszystkich poprzednich bloków. Ta funkcja utrudnia manipulowanie wcześniejszymi zapisami. *Blockchain* jest technologią służącą przechowywaniu danych. Nie odnosi się ani do sposobu ich pozyskiwania, ani nie dostarcza rozwiązań wspierających ich analizę[91].

Blockchain pozwala na tworzenie i utrzymywanie rozproszonych rejestrów – zbiorów danych, które są masowo replikowane we wszystkich „węzłach" w systemie – w przeciwieństwie do tradycyjnych scentralizowanych baz danych, dla których w danym momencie istnieje tylko jedna główna kopia bazy[92].

Dostępnych jest wiele implementacji technologii *blockchain*. Najpopularniejsze z nich to: Ethereum, Hyperledger, Fabric i Ripple. Kluczową zaletą tych systemów jest ich odporność na awarie pojedynczych węzłów.

Sieci *blockchain* dzielą się na publiczne i prywatne. Te pierwsze są dostępne dla każdego. Te drugie (tworzone np. przez korporacje i ich kontrahentów) weryfikują uczestników, zanim umożliwią im połączenie z systemem. Istnieje także model pośredni, który umożliwia nadanie poszczególnym podmiotom dostępu do różnych poziomów bazy danych.

Blockchain jest siecią zdecentralizowaną. Jedną z ważnych konsekwencji tego faktu jest to, że wersje bazy danych, przechowywane w różnych węzłach sieci, mogą tymczasowo różnić się od siebie. Dlatego łańcuchy bloków wymagają mechanizmu konsensusu, który zapewnia możliwość synchronizacji różnych wersji. Istnieją różne metody i technologie osiągania tego celu. To, czy sieć jest publiczna czy prywatna, wpływa na wybór mechanizmu konsensusu. Na przykład *Bitcoin*, sieć publiczna, wykorzystuje dowód pracy (PoW) jako metodę konsensusu. PoW oferuje pewny sposób zapewnienia wiarygodności danych, ale jest nieefektywny w wykorzystaniu

---

91 V. Babich, G. Hilary, *Distributed Ledgers and Operations: What Operations Management Researchers Should Know About Blockchain Technology*, "Manufacturing and Service Operations Management" 2020, vol. 22, iss. 2, s. 223–428.

92 Y. Wang, J.H. Han, P. Beynon-Davies, *Understanding Blockchain Technology for Future Supply Chains: a Systematic Literature Review and Research Agenda*, "Supply Chain Management" 2018, vol. 24 no. 1, s. 62-84.

zasobów, takich jak energia elektryczna, przepustowość łączy internetowych i czas procesora. W prywatnych sieciach *blockchain*, które weryfikują uczestników, ryzyko opanowania sieci przez pojedynczy podmiot jest zarządzane poprzez uprawnienia sieciowe. W takich sieciach mechanizm zatwierdzania nowego konsensusu może opierać się na głosowaniu. Wyzwanie w tym przypadku polega na znalezieniu rozwiązania technicznego, które równoważy weryfikowalność danych, wykorzystanie zasobów obliczeniowych i zapewnienie prywatności. W odpowiedzi na te potrzeby pojawiły się dziesiątki różnych protokołów konsensusu i regularnie powstają nowe.

Bazy danych *blockchain* mogą zawierać różne typy obiektów, w tym oprogramowanie wykonywalne. Daje to możliwość budowania mechanizmu automatycznego rozliczania umów. Potrzebne dane, np. kurs waluty, wielkość sprzedaży, itp., muszą być pobierane ze świata zewnętrznego. Odpowiadają za to dedykowani agenci – tzw. „wyrocznie" – programy pozyskujące i poświadczające poprawność danych. Pewien problem stanowi fakt, że „wyrocznie" również podlegają wyzwaniom związanym z bezpieczeństwem. W odpowiedzi twórcy systemów stosują różne rozwiązania kryptograficzne w celu szyfrowania danych, a ponadto dążą do decentralizacji „wyroczni", aby uodpornić je na błędy, w sposób analogiczny do samego łańcucha bloków[93].

Ciekawą koncepcją wykorzystania technologii *blockchain* jest tokenizacja. To proces przekształcania prawa do zasobu na token cyfrowy w łańcuchu bloków. Cechy *blockchain*, takie jak gwarantowana niezmienność danych i mechanizmy zapobiegania podwójnym płatnościom, są wykorzystywane do tworzenia tokenów. Technologia ta może ułatwić handel niepłynnymi aktywami i umożliwić mikropłatności. Na przykład IBM i Veridium ogłosiły w 2018 roku swój plan tokenizacji limitów emisji dwutlenku węgla. Tokenizacja umożliwia rozwój innowacyjnej formy finansowania nowych przedsięwzięć, w której przedsiębiorca pozyskuje fundusze od inwestorów w zamian za tokeny kryptograficzne, będące jedynym środkiem płatności za przyszłe produkty lub usługi związane z finansowanym przedsięwzięciem.

Blockchain może gromadzić dane o transakcjach handlowych tworząc w ten sposób zweryfikowaną księgę przeszłych transakcji. Kupujący mogą z niej korzystać w procesie wyboru dostawcy, a ci z kolei mogą ją wykorzystywać do prezentowania kupującym wysokiej jakości swoich towarów i usług.

Technologia *blockchain* posiada kilka mocnych stron, które umożliwiają jej stosowanie we wspomaganiu zarządzania na szczeblu operacyjnym:

- widoczność – *blockchain* daje uczestnikom łańcucha dostaw możliwości śledzenia towaru w całym łańcuchu;

---

93 V. Babich, G. Hilary, *Distributed Ledgers and Operations...*, op. cit., s. 3–4.

- agregacja – *blockchain* może gromadzić i integrować dane z różnych źródeł: firm, klientów, regulatorów i inteligentnych czujników. Dane te mają wymiar czasowy, ponieważ wcześniejsze rekordy transakcji są trwale rejestrowane w kolejnych blokach, które się do niej odnoszą;
- walidacja – *blockchain* gwarantuje, że gdy informacja zostanie zapisana w jego rozproszonej bazie, zostanie uwierzytelniona, a zatem trudno ją zmanipulować. Łańcuch bloków osiąga to dzięki funkcjom zarządzania tożsamością i protokołom rozwiązywania konfliktów;
- automatyzacja – *blockchain* ma zdolność do automatycznego wykonywania pewnych transakcji w odpowiedzi na określone warunki i zdarzenia (np. uruchamianie płatności po dostarczeniu gotowego produktu do klienta końcowego, automatyczne zamawianie części zamiennych potrzebnych do naprawy maszyny, w odpowiedzi na zaistniałą, lub prognozowaną przez system predykcyjny, awarię urządzenia);
- odporność na błędy i awarie – cała baza łańcucha bloków jest powielana w każdym jego węźle, a zatem jest odporna na awarie pojedynczych elementów, a mechanizm konsensusu zapewnia jej odporność na błędy[94].

Technologia łańcucha bloków, jak każda innowacja, ma swoje słabe strony:

- brak zapewnienia prywatności – łańcuchy bloków (w szczególności publiczne) są projektowane tak, aby utrudnić usuwanie danych. Może to komplikować ochronę prywatności i przestrzeganie przepisów, które jej dotyczą;
- brak standaryzacji – *blockchain* jest obecnie raczej koncepcją niż standardem technologicznym. Stosowane protokoły nie są jeszcze stabilne, co podnosi poziom niepewności technologicznej i hamuje rozpowszechnianie technologii łańcucha bloków;
- problem jakości danych wejściowych – problem odzwierciedlenia stanu fizycznego w zapisach informacji w rozproszonej bazie jest istotny zwłaszcza w zarządzaniu operacyjnym. Błędne dane mogą zostać wprowadzone omyłkowo, lub celowo, a następnie powielone w rozproszonej bazie. Stan fizyczny może się również zmienić bez zaktualizowania wcześniej zapisanej w bazie informacji. Możliwe przeciwdziałania tym błędom opierają się na koncepcji dwustronnej walidacji (np. przez kupującego i sprzedającego), albo potwierdzeniu przez zaufaną trzecią stronę. Innym możliwym rozwiązaniem jest stosowanie czujników, które śledzą stan fizyczny i aktualizują rozproszoną bazę *blockchain*;

---

94 V. Babich, G. Hilary, *Distributed Ledgers and Operations*..., op. cit., s. 3.

- efekt czarnej skrzynki – dzięki łańcuchom bloków eliminuje się konieczność zaufania do kontrahenta, ale zastępuje ją, koniecznością zaufania do konkretnej implementacji systemu, a więc pośrednio, również do pewnej trzeciej strony;
- nieefektywność – łańcuchy bloków są często nieefektywne z założenia. Na przykład *Bitcoin* do uzyskania konsensusu stosuje metodę *proof-of-work* (PoW), która wymaga dużej ilości energii elektrycznej i mocy obliczeniowej komputerów do wykonania algorytmów kryptograficznych oraz przepustowości łączy internetowych do propagowania wyników. Obecnie alternatywne zasady konsensusu, stosowane w sieciach prywatnych, ograniczają te nieefektywności[95].

Internet rzeczy (*Internet of things*, IoT) to globalna sieć inteligentnych urządzeń, które integrują, za pośrednictwem Internetu, świat fizyczny ze światem cyfrowym. Jest uważany za podstawową technologię w nadchodzącej erze przemysłu 4.0, jednak na razie, nie ma zbyt wielu empirycznych dowodów na jego wykorzystanie w zarządzaniu łańcuchami dostaw.

Czujniki w urządzeniach IoT przekształcają pomiary wielkości fizycznych, takich jak temperatura, wilgotność, położenie i prędkość, na informację cyfrową. Gama urządzeń i ich zastosowań, które można zaklasyfikować jako IoT, jest bardzo szeroka. Na przykład w handlu detalicznym (w magazynach i sklepach) używa się technologii *RFID* (*Radio-frequency identification*) do oznaczania i śledzenia jednostek towaru (pudełka, palety i pojemniki). Stosuje się kody kreskowe, urządzenia PDA (osobisty asystent cyfrowy), skanery laserowe i LED oraz skanery oparte na kamerach. Ponadto w magazynach pracują automatyczne pojazdy kierowane (AGV) oraz zautomatyzowane urządzenia do przenoszenia palet i systemy sterowania przenośnikami. W punktach sprzedaży stosuje się analitykę wideo – rozpoznawanie twarzy w celu identyfikacji klientów, spersonalizowaną – za pomocą uczenia maszynowego – reklamę i oferty kontekstowe, kamery IP, kody kreskowe i QR. Aplikacje na smartfony w handlu detalicznym ułatwiają klientom wybór produktów, zamawianie, płacenie i śledzenie dostaw.

Dostęp do danych z czujników w czasie rzeczywistym jest często wystarczający dla potrzeb operacyjnych, ale pełne wykorzystanie potencjału IoT umożliwia dopiero gromadzenie danych, ich wizualizacja oraz analiza przy pomocy algorytmów uczenia maszynowego i sztucznej inteligencji. Daje to menedżerom możliwość podejmowania decyzji na podstawie danych. Ich analiza wpływa na wiele obszarów działalności, w tym prognozowanie i planowanie, zrozumienie potrzeb klientów, strategiczne, operacyjne i taktyczne decyzje biznesowe, usprawnienie procesów, ocenę personelu, automatyczne raportowanie w czasie rzeczywistym

95 V. Babich, G. Hilary, *Distributed Ledgers and Operations*..., op. cit., s. 3.

itd. Analizowanie danych pochodzących z IoT jest wyzwaniem ze względu na ich ilość i złożoność. Firmy w zasadzie nie udostępniają surowych danych z urządzeń IoT partnerom w łańcuch dostaw, natomiast dzielą się raportami i wynikami analiz. Wdrożenie IoT często pociąga za sobą potrzebę wdrożenia analityki danych, w tym *big data* i sztucznej inteligencji[96].

Przemysł 4.0 i technologie cyfrowe zmieniają łańcuchy dostaw i zarządzanie operacjami. Nowe, innowacyjne modele biznesowe mają wspólny zestaw cech, takich jak organizacja oparta na chmurze, platformy cyfrowe, tworzenie wartości zorientowane na usługi oraz dynamiczna kompozycja procesów. Na przykład Amazon oferuje korzystanie ze swoich zasobów fizycznych i cyfrowych stronom trzecim. Siemens i BMW opracowały platformy inteligentnej produkcji z wykorzystaniem technologii chmury[97].

Dotychczas chmura obliczeniowa była traktowana przede wszystkim jako platforma dla systemów ERP. Obecnie postrzega się ją także jako sposób na integrację nowych technologii takich jak sztuczna inteligencja (AI), *blockchain* i Internet rzeczy (IoT), które coraz częściej przenikają pracę i codzienne życie. Nowe technologie ERP w chmurze, integrujące AI, IoT i *blockchain*, redukują nakład pracy na operacyjną obsługę procesów i uwalniają potencjał pracowników dla działań kreatywnych. Znajdują zastosowania w marketingu, finansach, zarządzaniu łańcuchem dostaw, zarządzaniu zasobami ludzkimi, planowaniu, produkcji, w sprzedaży i usługach[98].

W literaturze naukowej zwraca się uwagę, że pojęcie GOZ 4.0 jest mocno związane z koncepcją zrównoważonych łańcuchów dostaw. Koncepcja ta dopiero dojrzewa, na ogół ma charakter opisowy i, jak dotąd, ograniczone znaczenie praktyczne. Naukowcy podejmują próby stosowania narzędzi symulacyjnych i optymalizacji celu badania ŁDOZ i przemysłu 4.0. Badane są czynniki determinujące udane przejść do GOZ i przemysłu 4.0[99]. To oryginalne zastosowanie metod symulacyjnych i optymalizacji stanowi odrębny przykład udziału technologii cyfrowych w rozwoju GOZ.

---

96 H. Shee, S.J. Miah, T. de Vass, *IoT in Supply Chain Management: Opportunities and Challenges for Businesses in Early Industry 4.0 Context*, "Operations and Supply Chain Management An International Journal" 2020, vol. 14 iss. 2, s. 2–5.

97 D. Ivanov, A. Dolgui, B. Sokolov, *Cloud supply chain: Integrating Industry 4.0 and digital platforms in the "Supply Chain-as-a-Service"*, "Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review" 2022, vol. 160, s. 1.

98 A.M. Fayed, M.O. Ezzat, M.M. Awny, *Guidelines for Selecting Emerging Technology Features for Cloud Erp*, w: *Towards the Digital World and Industry X.0 – Proceedings of the 29th International Conference of the International Association for Management of Technology*, New York 2020, s. 1.

99 N. Tsolakis, T.S. Harrington, J.S. Srai, *Digital Supply Network Design: a Circular Economy 4.0 Decision-Making System for Real-world Challenges*, "Production Planning & Control" 2021, s. 1.

4.3. Technologie cyfrowe w logistyce i łańcuchach dostaw

W niniejszej części opracowania omówione zostaną wspomniane wcześniej technologie cyfrowe w kontekście ich roli we wspieraniu zarządzania logistycznego i zarządzania łańcuchami dostaw.

Blockchain znakomicie ułatwia interakcje pomiędzy podmiotami uczestniczącymi w łańcuchu dostaw, ponieważ jest pewnego rodzaju rozproszoną księgą rachunkową, która zawiera wiarygodne i niezmienne informacje. Technologia ta może pomóc w dostarczaniu konsumentom szczegółowych, wielowymiarowych danych o produkcie i jego historii, np. o miejscu wytworzenia każdej skrzynki owoców, ale i o używanych do produkcji nawozach i pestycydach, warunkach dojrzewania (pogoda) i zbiorów, o środkach transportu i magazynowania, czasach poszczególnych etapów, pośrednikach i zakładach przetwórczych. Łańcuch bloków daje możliwość agregowania niejednorodnych i pochodzących z różnych źródeł informacji, które mogą z kolei posłużyć do poprawy wydajności łańcucha dostaw.

Mechanizm inteligentnych kontraktów w *blockchain* pozwala z kolei na automatyczną aktywację całego łańcucha dostaw w odpowiedzi na określone zdarzenie, takie jak awaria jakiejś części w maszynie. Nie chodzi tu tylko o automatyczne złożenie zamówienia, ale o autonomiczne i synchroniczne podjęcie decyzji o produkcji, wysyłce i zapasach w całym systemie. Inteligentne kontrakty mogą samoczynnie weryfikować informacje o zamówieniach i płatnościach, kontrolować przesłanki i wypełnianie warunków umowy, chroniąc w ten sposób prawa wszystkich interesariuszy łańcucha dostaw.

Jednym z klasycznych problemów w zarządzaniu łańcuchem dostaw jest efekt byczego bicza. Jest on wywoływany wzrostem zmienności zamówień na końcu łańcucha (u końcowego sprzedawcy), co implikuje większy wzrost zmienności zamówień w miarę przesuwania się w górę łańcucha dostaw, by osiągnąć swoje maksimum w miejscu produkcji. Sprzedawcy detaliczni mogliby dzielić się swoimi danymi o sprzedaży z dostawcami, ale w ich interesie jest zawyżanie prognoz, co ma skłonić dostawców do zwiększenia wydajności produkcji i zapasów. Dostawcy z kolei czerpią korzyści, stwarzając wrażenie, że zasoby są ograniczone, co sprawia, że detaliści zamawiają więcej, próbując zapewnić sobie większy wolumen dostaw. Środkiem zaradczym, który może ograniczać efekt byczego bicza, jest udostępnianie wiarygodnych danych o popycie, zapasach i podaży w całym łańcuchu dostaw wszystkim jego uczestnikom. Aplikacje oparte na łańcuchu bloków, ze względu na funkcje, które zapewniają transparentność i wiarygodność danych, mogą ograniczać efekt byczego bicza. Co ważne, technologia łańcucha bloków ułatwia zbieranie informacji w wielu firmach i na różnych poziomach łańcuchów dostaw.

Ograniczenie efektu byczego bicza sprzyja lepszemu dopasowaniu poziomu zapasów do rzeczywistych potrzeb. Ogranicza zatem nadmierne gromadzenie zapasów, niepotrzebną produkcję, transport i magazynowanie towaru. Wychodzi więc naprzeciw tego, co nazywamy zielonym łańcuchem dostaw[100].

Aplikacje oparte na łańcuchu bloków mogą integrować dane z całego łańcucha dostaw, od producentów surowców po sprzedawców detalicznych. Mogą również dawać firmom wgląd w strukturę ich rozszerzonych łańcuchów dostaw, mogą wspomagać wykrywanie potencjalnie wąskich gardeł i ujawniać nadmierną koncentrację geograficzną zasobów produkcyjnych. Wiele obecnych zastosowań tej technologii ma na celu ustalenie pochodzenia produktu. Ma to zasadnicze znaczenie w identyfikowaniu ryzyka, szacowaniu prawdopodobieństwa wystąpienia niekorzystnych zdarzeń i oceny ich konsekwencji. Monitorowanie, dzięki łańcuchowi bloków, miejsc pochodzenia składowych produktu może uruchamiać ostrzeżenia w przypadku korzystania z nieautoryzowanych źródeł. Potencjalnie wadliwe produkty mogą zostać w ten sposób wykryte, sprawdzone i wycofane z dalszych etapów produkcji, dystrybucji lub od klientów. Łańcuch bloków może również pomóc w identyfikacji wszystkich klientów, którzy otrzymali wadliwy produkt. Powiadomienia o wadach mogą odbywać się automatycznie, przy wykorzystaniu funkcji inteligentnych kontraktów. Na takiej samej zasadzie mogą być aktywowane zespoły reagowania kryzysowego w całym łańcuchu dostaw[101].

Łańcuch dostaw w chmurze integruje koncepcje i technologie przemysłu 4.0 oraz operacji cyfrowych pojawiających się w paradygmacie „łańcucha dostaw jako usługi". Wykracza poza oferowanie lokalnych, odizolowanych usług w produkcji i logistyce (takich jak EDI lub RFID) i rozwija się w kierunku integracji opartej na sieci. Ta transformacja opiera się na technologiach *blockchain* i IoT. Może być postrzegana jako produkt ewolucji koncepcji wirtualnego przedsiębiorstwa, produkcji w chmurze oraz oprogramowania udostępnianego jako usługa (*software as a service*, SaaS).

Wdrożenie IoT ma pozytywny wpływ na widoczność łańcucha dostaw, przy czym zarówno podgląd zdarzeń, jak i analiza danych odbywają się w czasie rzeczywistym, co umożliwia podejmowanie natychmiastowych działań. Wdrożenia IoT zapewnia większą integrację łańcuchów dostaw, poprawę komunikacji i relacji wewnątrz firmy, jak i pomiędzy firmami. Ogranicza też udział pracy ludzkiej w obsłudze procesów logistycznych[102].

---

100 V. Babich, G. Hilary, *Distributed Ledgers and Operations...*, op. cit., s. 7.

101 Ibidem.

102 H. Shee, S.J. Miah, T. de Vass, *IoT in Supply Chain Management...*, op. cit., s. 16.

Łańcuch dostaw w chmurze jest czymś więcej niż tylko outsourcingiem logistycznym. Łączy bowiem wszystkie procesy operacyjne (np. logistykę, magazynowanie, produkcję, zaopatrzenie, sprzedaż i zwroty), wszystkie przepływy łańcucha dostaw (materiałowe, informacyjne i finansowe) oraz wszystkich uczestników łańcucha dostaw (dostawców, producentów, dystrybutorów i klientów) w ramach platform i ekosystemów cyfrowych[103].

Przykładem udostępniania łańcucha dostaw jako usługi w chmurze jest serwis Amazon FBA, który umożliwia firmom zewnętrznym korzystanie z sieci logistycznych Amazona. Firmy mogą wysyłać swoje produkty do centrów dystrybucyjnych Amazon, gdzie odbywa się odbiór, pakowanie, wysyłka towaru zakupionego przez klienta, kompleksowa obsługa zamówień i zwrotów. Model biznesowy FBA realizuje rodzaj „wynajmu" łańcucha dostaw. FBA oferuje obsługę wielokanałową – klienci mogą zamawiać produkty ze strony internetowej firmy – zleceniodawcy, ze sklepu Amazon, mediów społecznościowych itp. Amazon zapewnia obsługę wszystkich procesów łańcucha dostaw, czyli oferuje klientom łańcuch dostaw jako usługę[104]. Jest to ciekawy przykład rozszerzenia zakresu zastosowania modelu znanego z rynku oprogramowania (SaaS) na szerszy obszar, jakim jest zarządzanie łańcuchem całym dostaw.

4.4. Technologie cyfrowe w łańcuchach dostaw o obiegu zamkniętym

Transformacja w kierunku GOZ staje się strategicznym priorytetem dla organizacji na całym świecie. GOZ jest postrzegana jako alternatywa dla gospodarki liniowej (weź-wytwórz-wyrzuć) i działa w oparciu o zasadę regeneracji, utrzymywania produktów w użyciu przy jednoczesnej redukcji odpadów i zanieczyszczeń. GOZ zastępuje zatem podejście „końca życia" zasadami ograniczania, ponownego użycia, recyklingu i odzysku. Podczas gdy organizacje muszą przejść od podejścia liniowego do GOZ, kwestie takie jak niedostępność i brak integralności danych o przebiegu procesów produkcji, dystrybucji i użytkowania, często utrudniają transformację w kierunku GOZ na poziomie firmy i łańcucha dystrybucji. Literatura naukowa wskazuje, że transformacja w tym kierunku łączy się z transformacją cyfrową. Naukowcy są zgodni, że przejście do GOZ jest wyraźnie powiązane z cyfryzacją, która obejmuje efektywne wykorzystanie *big data*, sztucznej inteligencji (AI), *blockchain*, Internetu rzeczy (IoT) i przetwarzania danych w chmurze. Technologie te umożliwiają

103 E. Ingemarsdotter, E. Jamsin, R. Balkenende, *Opportunities and Challenges in IoT-enabled Circular Business Model Implementation – A case study*, "Resources, Conservation & Recycling" 2020, s. 2.

104 D. Ivanov, A. Dolgui, B. Sokolov, *Cloud Supply Chain...*, op. cit., s. 1–3.

firmom wykorzystanie analityki predykcyjnej oraz śledzenie i monitorowanie całego cyklu życia produktu[105].

W oparciu o eksperymenty symulacyjne badacze sformułowali kilka wniosków dotyczących projektowania ŁDOZ, które wykorzystują technologie przemysłu 4.0. W projektach ŁDOZ powinien istnieć podział operacji na *upstream* (zasilanie fabryk) i *downstream* (dystrybucja do klientów). W całkowicie zdecentralizowanych ŁDOZ czas produkcji ma duży wpływ na zapasy i utratę sprzedaży. Sieci dostaw o obiegu zamkniętym powinny mieć konfigurację częściowo scentralizowaną. Taka konfiguracja uodparnia, w pewnym zakresie, sieć na czasowe ograniczenia w dostawach surowców, na zakłócenia zdolności produkcyjnych i wahania popytu rynkowego. Duży nacisk należy położyć na monitorowanie dostaw surowców odnawialnych, zwłaszcza ich dostępności i jakości. Ma to zasadnicze znaczenie dla planowania sekwencji operacji w sieciach o obiegu zamkniętym[106].

Z punktu widzenia GOZ zastosowanie nowych technologii cyfrowych przynosi wymierne korzyści. Technologia może uzupełniać umiejętności i wydajność pracowników oraz wspierać ich wysiłki w podejmowaniu decyzji operacyjnych. Wspomaga też projektowanie procesów i produktów w taki sposób, aby ułatwić cyrkulację wyrobów w obiegu zamkniętym, ich późniejszą regenerację i utylizację. Dane historyczne gromadzi się i analizuje, aby następnie wykorzystać je podczas projektowania nowych produktów i procesów, co ułatwia osiąganie celów ekonomicznych i środowiskowych w GOZ i efektywne wykorzystanie zasobów. Takie produkty, ich komponenty i powiązane z nimi procesy można projektować i optymalizować poprzez zastosowanie modeli predykcyjnych, tworzonych przy pomocy technik uczenia maszynowego i sztucznej inteligencji[107].

Ponadto dane historyczne oraz dane pozyskiwane w czasie rzeczywistym mogą przewidywać popyt i zarządzać zapasami, co prowadzi do minimalizacji odpadów i poprawia stopień zrównoważenia operacji. Technologie cyfrowe mogą wspomagać regenerację i recykling. Na przykład rozpoznawanie obrazów, oparte na sztucznej inteligencji, może poprawić skuteczność recyklingu e-odpadów.

Big data jest postrzegane jako technologia, a raczej zbiór technologii, które mają potencjał do dalszej poprawy procesów decyzyjnych w zarządzaniu łańcuchami dostaw. Jednak o ile koncepcje technologiczne mieszczące się w zakresie pojęcia

---

105 C. Chauhan, V. Parida, A. Dhir, *Linking circular economy and digitalisation technologies: A systematic literature review of past achievements and future promises*, "Technological Forecasting & Social Change" 2022, vol. 177, s. 1.

106 N. Tsolakis, T.S. Harrington, J.S. Srai, *Digital supply network design...*, op. cit., s. 16.

107 G. Bressanelli, M. Perona, N. Saccani, *Towards the circular supply chain: a literature review of challenges*, "Proceedings of the Summer School Francesco Turco" 2018, s. 2.

big data są dojrzałe, to ich zastosowanie z perspektywy procesów biznesowych jest częściowo tylko zbadane. Terminologia jest kojarzona przez decydentów bardziej z gromadzeniem danych niż zarządzaniem nimi i uzyskiwaniem z nich korzyści biznesowych. *Big data* częściej znajduje zastosowanie w procesach logistycznych, usługowych i planistycznych niż w procesach związanych zaopatrzeniem produkcji i zwrotu w ŁDOZ. Wydaje się także, że zarządzający łańcuchami dostaw stosunkowo powoli przejmują dla swoich potrzeb technologie *big data*[108].

W ostatnich latach rośnie znaczenie sztucznej inteligencji opartej na *big data*. Literatura naukowa wskazuje, że dotyczy to także zwiększania, dzięki tym technologiom, wydajności łańcuchów dostaw. Badania naukowe, które wskazywałyby powody angażowania się firm produkcyjnych we wdrażanie sztucznej inteligencji opartej na *big data*, mają, na razie, ograniczony zasięg. Interesującą kwestią, która wymaga naukowego wyjaśnienia, jest ocena wpływu presji instytucjonalnej wywieranej na przedsiębiorstwa przez regulatorów. Presja ta wymusza wdrażanie zrównoważonych procesów produkcyjnych i ŁDOZ. To z kolei implikuje budowanie przez przedsiębiorców zasobów: technologii i kompetencji, umożliwiających wykorzystanie sztucznej inteligencji opartej na *big data*, do wypracowania odpowiedzi na wymagania regulatorów. Efekt moderujący może wywierać tu elastyczność samych organizacji i dynamika branży, w której działa przedsiębiorstwo[109].

Technologia *big data* i sztuczna inteligencja mogą odgrywać ważną rolę dla rozwoju zrównoważonej produkcji i GOZ. Mogą wspomagać planowanie logistyki zwrotnej i projektowanie optymalnych ŁDOZ, w których ryzyko zakłóceń będzie zminimalizowane, podobnie jak straty produkcyjne, problemy w relacjach z klientami i nieefektywności finansowe. Wdrożenie tych technologii może przynieść korzyści producentom uczestniczącym w GOZ poprzez zapewnienie większej liczby opcji recyklingu, a przez to, wydłużenie cyklu życia zasobów, zmniejszenie ilości odpadów.

Kolejna metoda, wydłużanie okresu użytkowania produktu, polega na zastosowaniu modeli predykcyjnych do planowania remontów i konserwacji urządzeń (*predictive maintenance*). Oprócz oczywistych korzyści dla GOZ, które wynikają z optymalnego planowania momentu konserwacji, co wydłuża okresu jego użytkowania, zwraca się uwagę na dodatkowe korzyści, jak poprawa jakości obsługi klienta i zmniejszenie ilości odpadów.

---

108 M. Brinch, J. Stentoft, J.K. Jensen, C. Rajkumar, *Practitioners understanding of big data and its applications in supply chain management*, "International Journal of Logistics Management" 2018, vol. 29, no. 2, s. 5.

109 S. Bag, J.H.C. Pretorius, S. Gupta, Y.K. Dwivedi, *Role of Institutional Pressures and Resources in the Adoption of Big Data Analytics Powered Artificial Intelligence, Sustainable Manufacturing Practices and Circular Economy Capabilities*, "Technological Forecasting & Social Change" 2021, s. 1.

Modele oparte na danych mogą ułatwić i usprawnić wdrożenie zasad GOZ, między innymi w identyfikacji i ocenie marnotrawstwa zasobów, w systemach produkcyjnych. Literatura naukowa podaje przykłady zastosowania technik uczenia maszynowego do walidacji opłacalności recyklingu. Podkreśla się znaczenie technologii w procesie składowania, przetwarzania i transportu odpadów w ŁDOZ. Szczególną rolę ma tu do odegrania sztuczna inteligencja, która umożliwia optymalizację operacji w logistyce zwrotnej, a zwłaszcza identyfikację i segregację odpadów.

Technologia *blockchain* natomiast może być wykorzystywana w celu śledzenia materiałów i potwierdzania zamknięcia pętli w ŁDOZ, to znaczy potwierdzenia faktu, że odpady zostały przetworzone na energię lub zregenerowane i ponownie wprowadzone do użytku.

Systemy gospodarowania odpadami wykorzystujące IoT w procesie segregacji ułatwiają wybór odpowiedniej technologii przetwarzania odpadów. Roboty sterowane przez sztuczną inteligencję mogą zastąpić ręczne sortowanie odpadów w miejskich sortowniach i zakładach utylizacji[110].

Powyższe przykłady nie wyczerpują listy możliwych zastosowań technologii cyfrowych w ŁDOZ, ale wskazują na dużą różnorodność potencjalnych aplikacji.

4.5. Czynniki stymulujące i bariery rozwoju w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym z wykorzystaniem technologii cyfrowych

Literatura naukowa wskazuje kilka czynników sprzyjających wykorzystaniu technologii cyfrowych w GOZ, a w szczególności ŁDOZ. Jednym z nich jest presja ze strony regulatorów. Za przykład mogą tu posłużyć przedsiębiorstwa przemysłu motoryzacyjnego w Republice Południowej Afryki, które zostały zmuszone przez rząd do wdrażania państwowej strategii cyfryzacji. Regulacje rządowe spowodowały, że firmy opracowały własne strategie cyfryzacji i wyznaczyły dla niej konkretne cele i miary. Poprawiło to ich zdolności produkcyjne[111].

Presja instytucjonalna zmusza firmy do budowania tych kluczowych zasobów (zarówno materialnych, jak i umiejętności pracowników). Pośrednio dzięki niej przedsiębiorstwa zyskują zdolności do posługiwania się technologiami *big data* i sztuczną inteligencją, a to z kolei daje im przewagę konkurencyjną związaną z niższymi kosztami, zrównoważoną produkcją i obiegiem materiałów. Ponadto presja regulatorów zmusza firmy do uwzględniania, w procesie digitalizacji, aspektów

---

110 C. Chauhan, V. Parida, A. Dhir, *Linking Circular Economy and Digitalisation Technologies...*, op. cit., s. 9.
111 S. Bag, J.H.C. Pretorius, S. Gupta, Y.K. Dwivedi, *Role of Institutional Pressures...*, op. cit., s. 10.

prywatności i bezpieczeństwa danych[112]. Oprócz pozytywnego wpływu na zasoby materialne (tj. infrastrukturę) i stopień ich wykorzystania, presja instytucjonalna jest dodatnio skorelowana z kompetencjami pracowników. Wiedza i umiejętności zdobyte przez nich podczas szkoleń oraz, co ważniejsze, praktycznego działania, należą do kategorii ukrytych zasobów, które nie są podatne na łatwe kopiowanie przez konkurencję. Szczególnie wartościowymi zasobami w erze cyfrowej są wiedza i umiejętności pracowników w dziedzinie analizy dużych zbiorów danych (*big data*) i sztucznej inteligencji (AI). Dużą wagę przykłada się tu zwłaszcza do umiejętności programowania. Od posiadania tych zasobów zależy pomyślne przeprowadzenie procesu digitalizacji.

Inne istotne determinanty stosowania technologii cyfrowych w łańcuchach dostaw to dążenie do poprawy efektywności operacyjnej oraz integracji łańcucha dostaw. Digitalizacji ŁDOZ sprzyja także zaangażowanie najwyższego kierownictwa. Menedżerowie wyższego szczebla powinni, w sposób kompetentny, nadzorować i kierować wdrażaniem coraz bardziej zaawansowanych metod analizy i wizualizacji danych w aplikacjach *big data* wykorzystujących sztuczną inteligencję, wobec dynamicznego rozwoju tych technologii. Tego rodzaju aplikacje są dla menedżerów narzędziami wspomagającymi podejmowanie wysokiej jakości decyzji w warunkach dużej dynamiki przedsiębiorstwa i jego otoczenia. Jest to konieczne, jeśli firma ma utrzymać wysoką konkurencyjność na rynku.

Literatura naukowa sugeruje, że świadomość społeczna i akceptacja technologii są najważniejszymi czynnikami napędzającymi przejście do GOZ. Kształtująca się nowa grupa konsumentów poszukuje szczegółowych informacji na temat wpływu oferowanych im zaawansowanych produktów i usług na środowisko. Takich informacji mogą dostarczać im systemy oparte na technologiach takich jak *big data*, IoT i *blockchain*[113].

Czasem o wdrażaniu technologii cyfrowych w firmach decyduje ich międzynarodowy charakter albo dążenie do posiadania najnowocześniejszych rozwiązań i bycia liderem rynku. O wdrożeniu może decydować także charakter produktów i oczekiwania klientów. Ważną rolę przy podejmowaniu decyzji dotyczącej wprowadzenia technologii cyfrowych może odegrać aktualna sytuacja firmy albo rynku, na którym działa (zaniechanie inwestycji na kurczącym się rynku)[114].

Badacze podkreślają kluczową rolę współpracy ekosystemów informacyjnych różnych podmiotów dla rozwoju GOZ wspieranej technologiami cyfrowymi. Przykładowo – dane produktów mogą być udostępniane podmiotom zajmującym się

112 Ibidem, s. 9.
113 C. Chauhan, V. Parida, A. Dhir, *Linking Circular Economy and Digitalisation Technologies...*, op. cit., s. 9–10.
114 H. Shee, S.J. Miah, T. de Vass, *IoT in Supply Chain Management...*, op. cit., s. 16.

recyklingiem na całym świecie. Odzyskiwane części mogą być identyfikowane poprzez IoT. Dzięki temu proces recyklingu może być bardziej wydajny.

Liderami innowacji cyfrowych są często dostawcy usług logistycznych, ponieważ ważne jest dla nich rozwijanie i komunikowanie wysokich kompetencji technologicznych. Są one dla ich klientów najważniejszym kryterium wyboru partnera świadczącego te usługi. Dotyczy to, między innymi, przewoźników, którzy korzystają z wielu technologii IoT w swojej działalności transportowej, takich jak urządzenia GPS do śledzenia pojazdów (z identyfikacją kierowców), które umożliwiają tworzenie historii śledzenia, informowanie o przekroczeniu dozwolonej prędkości, optymalizację tras; jak kamery wideo w pojazdach, aplikacje na smartfony, czujniki do zdalnego monitorowania temperatury w logistyce łańcucha chłodniczego, skanery siatkówki do identyfikacji osób, kamery do monitorowania zmęczenia kierowcy, systemy zarządzania flotą do monitorowania czasu bezczynności i prewencyjnej konserwacji silnika, itd. Dostawcy usług logistycznych twierdzą, że dzięki swoim zdolnościom technologicznym, opartym na IoT, wygrywają z mniej zaawansowaną konkurencją i podpisują więcej kontraktów. Niezależni dostawcy usług logistycznych odgrywają wiodącą rolę w stymulowaniu digitalizacji łańcuchach dostaw[115].

Modele biznesu obiegu zamkniętego umożliwiają tworzenie wartości poprzez wydłużanie okresu użytkowania produktów, regenerację, naprawę oraz projektowanie produktów o długiej żywotności, a także przez zamykanie pętli obiegu. Włączenie zasad GOZ do modeli biznesowych firm wymaga często rekonfiguracji procesów produkcyjnych, jednak wybór tego rodzaju modeli biznesowych może mieć zasadnicze znaczenie dla rozwoju przedsiębiorstwa[116].

Wśród wyzwań dla rozwoju GOZ, wskazywanych w literaturze przedmiotu, najliczniejszą grupę stanowią te dotyczące zarządzania łańcuchami dostaw, kwestii finansowo-ekonomicznych, funkcjonowania rynków, kooperacji firm, charakterystyki produktów, standardów i regulacji, technologii oraz nawyków konsumentów. W zarządzaniu ŁDOZ najistotniejsze wyzwania dotyczą wahań przepływów zwrotnych zużytych towarów, infrastruktury transportowej, dostępności partnerów uczestniczących w zrównoważonych łańcuchach dostaw, koordynacji i przepływu informacji oraz śledzenia produktów. Odpowiedzią na wiele z tych wyzwań mogą być nowoczesne technologie[117]. Szczególnie GOZ, zrównoważony rozwój, ochrona środowiska naturalnego i zarządzanie odpadami będą, zdaniem naukowców, atrakcyjnymi obszarami dla technologii cyfrowych.

---

115 Ibidem, s. 13.

116 C. Chauhan, V. Parida, A. Dhir, *Linking Circular Economy and Digitalisation Technologies...*, op. cit., s. 10.

117 G. Bressanelli, M. Perona, N. Saccani, *Towards the Circular Supply Chain...*, op. cit., s. 3.

W literaturze naukowej identyfikuje się szereg barier, które spowalniają i ograniczają rozwój GOZ napędzany technologiami cyfrowymi. Wśród najważniejszych wymienia się wysokie koszty wdrożenia technologii *big data*, brak standardów dla procesów zarządzania danymi i trudności w projektowaniu urządzeń gotowych na technologię IoT[118], złą jakość danych i dużą różnorodność ich formatów, co pogarsza jakość modeli predykcyjnych stosowanych, na przykład, w zarządzaniu odpadami. Zwraca się uwagę na wyzwania dla tego rozwoju, związane z niedostatkiem edukacji ekologicznej i, co się z tym wiąże, niskim poziomem kultury ochrony środowiska oraz wynikającą z tego małą presją ze strony rynku. Nowatorski charakter przełomowych technologii oraz związany z nim brak przewidywalności co do kierunków dalszego rozwoju wywołują opór wśród potencjalnych użytkowników.

Ponadto wskazuje się na duże znaczenie polityki i odpowiednich regulacji[119]. Brak nacisku ze strony rządzących utrudnia wdrażanie aplikacji *big data*. Z kolei brak danych historycznych dotyczących przepływów materiałów i innych operacji utrudnia decydentom opracowanie odpowiednich przepisów wyznaczających ramy dla tworzonych rozwiązań[120].

Badacze identyfikują bariery we wdrażaniu technologii IoT. Część z nich dotyczy kwestii środowiskowych i konieczności redukcji e-odpadów. Proponuje się stworzenie nowej kategorii dla e-odpadów wyprodukowanych przez technologie Przemysłu 4.0, co ułatwiłoby ich redukcję i pozwoliłoby, dzięki GOZ, na generowanie nowych przychodów. Kolejna propozycja dotyczy konsolidacji różnych czujników i funkcji na jednej platformie sprzętowej. To z kolei skutkowałoby zmniejszeniem liczby produkowanych urządzeń. Ponadto pojawiło się dążenie do konsolidacji polegającej na używaniu tego samego urządzenia do wielu celów. Obecnie smartfony są niemal wszechobecne, naturalne wydaje się wykorzystanie ich np. w handlu detalicznym, w centrach dystrybucyjnych, ale także przez niezależnych operatorów logistycznych. Korzystając z różnorodności czujników oraz kilku możliwości połączenia z Internetem, w które wyposażane są smartfony, każdy z nich może zastąpić kilka „dedykowanych" urządzeń IoT. Warte podkreślenia są pozytywne dla środowiskowe aspekty takiego podejścia[121].

Barierą dla wykorzystania potencjału technologii IoT jest także niechęć uczestników łańcuchów logistycznych (zwłaszcza sprzedawców detalicznych) do

---

118 E. Ingemarsdotter, E. Jamsin, R. Balkenende, *Opportunities and Challenges in IoT – Enabled...*, op. cit., s. 3.

119 A. Zhang, V.G. Venkatesh, Y. Liu, M. Wan, T. Qu, D. Huisingh, *Barriers to Smart Waste Management for a Circular Economy in China*, "Journal of Cleaner Production" 2019, s. 5

120 C. Chauhan, V. Parida, A. Dhir, *Linking Circular Economy and Digitalisation Technologies...*, op. cit., s. 8.

121 H. Shee, S.J. Miah, T. de Vass, *IoT in Supply Chain Management...*, op. cit., s. 12.

udostępniania swoich danych. Wymiana szczegółowych informacji z systemów IoT znakomicie ułatwiłaby, wszystkim uczestnikom łańcucha dostaw, analizę i raportowanie w czasie rzeczywistym.

Inne przeszkody w rozwoju Internetu Rzeczy wynikają z braku inicjatywy kierownictwa wysokiego szczebla, braku kompatybilności ze starszymi technologiami i systemami partnerów, oporu pracowników przed wdrażaniem nowych rozwiązań, koniecznością ochrony prywatności oraz niezawodnością łączności i usług internetowych.

Osobna grupa wyzwań jest związana z koniecznością uwzględniania wymogów bezpieczeństwa, etyki i prywatności w projektach integracji procesów logistycznych w łańcuchu dostaw z różnorodnymi technologiami i usługami chmurowymi.

4.6. Podsumowanie

W ciągu ostatnich lat społeczeństwa uświadomiły sobie skalę zagrożeń ekologicznych i związaną z tym potrzebę wprowadzenia szybkich zmian w podejściu do zasobów, produkcji i konsumpcji. Pojawiła się konieczność wdrożenia GOZ, po to aby ochronić pozostałe jeszcze ekosystemy i zapewnić surowce dla rozwijających się ciągle światowych rynków.

Na ten sam okres przypada gwałtowny rozwój technologii cyfrowych i eksplozja różnorodnych pomysłów na ich wykorzystanie w gospodarce. Nic więc dziwnego, że także GOZ czerpie ze zdobyczy technologii cyfrowych.

Główną siłą napędową dla koncepcji zamkniętego obiegu gospodarczego jest rosnąca świadomość społeczeństw, zwyczaje i oczekiwania konsumentów oraz, podążająca za nimi, presja prawodawców. Te czynniki wymuszają na przedsiębiorstwach wdrażanie zasad GOZ i wykorzystywanie w tym celu wszelkich dostępnych instrumentów.

Technologie cyfrowe stanowią zestaw narzędzi, które ułatwiają budowanie GOZ. Są stymulatorem jej rozwoju w tym sensie, że umożliwiają realizację zadań trudnych, a nawet wcześniej niemożliwych do wykonania. Nie utrudniają realizacji celów, jakie sobie stawia, chociaż w pewnych aspektach same generują dodatkowe problemy dla środowiska (e-odpady w przypadku IoT, zużycie energii przez komputery realizujące PoW w technologii *blockchain*).

Rozwój technologii cyfrowych obecnie wyprzedza ich zastosowanie w GOZ. Technologie są gotowe i czekają na implementacje. Sytuacja, w pewnym stopniu, przypomina wczesny etap rozwoju Internetu, po którym nastąpiła eksplozja zastosowań i rewolucja technologiczna, społeczna i ekonomiczna.

Technologie cyfrowe nie stanowią bariery dla rozwoju GOZ, ale ich szerokie zastosowanie napotyka na szereg przeszkód. *Blockchain*, chmura obliczeniowa, *big data*, analityka predykcyjna czy sztuczna inteligencja, to skomplikowane dziedziny, wymagające specjalistycznej wiedzy, umiejętności i doświadczenia. Właśnie one stają się krytycznymi zasobami i barierą dla szerokiego stosowania technologii cyfrowych w GOZ. Barierą są także kompetencje kadry zarządzającej, której zadanie polega na stymulowaniu procesu wdrażania technologii cyfrowych w GOZ, śledzeniu ich rozwoju oraz inicjowaniu implementacji najnowszych rozwiązań. Inne bariery to niechęć przedsiębiorców do udostępniania własnych danych czy wyzwania związane z bezpieczeństwem informacji i ochroną danych osobowych.

Podsumowując technologie cyfrowe nie są stymulantem rozwoju przedsiębiorstw w kierunku GOZ, ale są jednym z najważniejszych narzędzi tej transformacji. Z całą pewnością nie hamują tego procesu, ale ich wdrażanie napotyka bariery i same, choć w niewielkim stopniu, przyczyniają się do problemu.

ZAKOŃCZENIE

Katarzyna Nowicka

Niniejsza praca jest drugą częścią prezentacji wyników badań i skupia się na problematyce organizacji przepływów w cyrkularnych łańcuchach dostaw w ujęciu stymulantów i ograniczeń ich rozwoju. Stanowi ona kontynuację i rozszerzenie analiz nakierowanych na rozwijanie repozytorium wiedzy na temat stanu gotowości i potrzeb przedsiębiorstw oraz miast w Polsce wobec transformacji w kierunku GOZ w kontekście organizacyjnym, instytucjonalnym i technologicznym. Diagnozy dokonano na podstawie studiów literatury i badań empirycznych zrealizowanych metodą CATI wśród zarządzających logistyką i łańcuchami dostaw reprezentujących przedsiębiorstwa należące do PKD C – przetwórstwo przemysłowe) we wrześniu 2022 roku.

Poniższe wyniki badania koncentrują się na problematyce cyrkularnych łańcuchów dostaw i zostały przedstawione w układzie zbieżnym ze strukturą podsumowania wyników badania zaprezentowanych w pierwszej części opracowania. Dla pełnego obrazu gotowości przedsiębiorstw, miast i łańcuchów dostaw do rozwoju w kierunku zgodnym z GOZ rekomenduje się zapoznanie z pierwszą częścią badań, włączając podsumowanie.

Myślenie systemowe

W ramach tej zdiagnozowanej luki zaproponowano pojęcie mówiące o globalnych kosztów ekologistycznych sumujących wszystkie koszty zewnętrzne łańcucha dostaw i stanowiące punkt wyjścia do budowy modelu biznesu ŁDOZ. W ten kontekst włączone jest także pojęcie odległości ekologicznej, która jest czynnikiem wyboru partnerów po stronie dostawców i klientów oraz wskaźnikiem dla konfiguracji przepływów pomiędzy wszystkimi partnerami w sieci (w ramach cross-dockingu zewnętrznego).

Cyrkularność

W toku badania zarządzających łańcuchami dostaw stwierdzono, że występuje zależność między poziomem cyrkularności – miejscem zagospodarowania przepływu zwrotnego towaru od klienta do ponownego przetworzenia – a czynnikami, które w różnym stopniu mogą oddziaływać na możliwość zamknięcia cyklu przepływów w łańcuchu dostaw.

Rezylientność

Badane łańcuchy dostaw można uznać za odporne na czynniki wewnętrzne i elastyczne w zakresie czynników zewnętrznych. Cyrkularny łańcuch dostaw będzie tym bardziej elastyczny, im mniej czynników lub w mniejszym stopniu będą one oddziaływać na procesy realizowane w strukturze ŁDOZ. Przepływ zwrotów towarów w celu ich ponownego wykorzystania lub przetworzenia w łańcuchu dostaw cechuje się stabilnością (odpornością), choć wskazano też, że może być realizowany w warunkach wysokiego poziomu absorbcji wewnętrznych czynników zmiennych (elastyczność). W wyniku badania stwierdzono też, że w warunkach zamykania cykli czynnikiem koniecznym uzyskania stanu sprawności jest nie tylko dywersyfikacja źródeł zaopatrzenia i racjonalne podejście do zarządzania wpływem inflacji, ale także umiejętność reagowania na czynniki zmienne zewnętrzne. Wyższy stopień uwzględnienia czynników zmiennych kształtuje odporność łańcucha dostaw, lecz w różnym stopniu. Najistotniejsza w zakresie konfigurowania cyrkularnych łańcuchów dostaw jest niepewność strategiczna, następnie wskazano na niepewność stochastyczną, a w dalszej kolejności na niepewność probabilistyczną. Niepewność jest składnikiem podejmowania decyzji w zarządzaniu odpornością cyrkularnych łańcuchów dostaw, a wyznaczenie rodzajów niepewności jest determinowane przez wysoki poziom świadomości menedżerów w zakresie warunków niepewności.

Eliminacja marnotrawstwa i odpadów

Zdecydowana większość respondentów (82%) prowadzi działania związane z gospodarką odpadami poprodukcyjnymi, niemal jedna trzecia zajmuje się zwrotami produktów w celu ich ponownego wykorzystania lub przetworzenia, a niecała jedna czwarta respondentów gospodaruje zwrotami opakowań „logistycznych". W zdecydowanej większości odpowiedzi dotyczących dominującej R-strategii zwią-

zanej z gospodarką odpadami poprodukcyjnymi respondenci wskazali ich utylizację (*Recover*) – ponad 30%, w dalszej kolejności odpady są ponownie przetwarzane w nowe produkty o innej funkcjonalności niż produkty, z których miały być pierwotnie złożone (*Recycle*). Jedna dziesiąta respondentów wskazała, że odpady są ponownie wykorzystywane do produkcji nowych towarów o tej samej funkcjonalności co towary pierwotne (*Repurpose*).

Technologie umożliwiające dostęp do danych i informacji

Technologie cyfrowe stanowią zestaw narzędzi ułatwiający rozwój GOZ i są jej stymulantem umożliwiając realizację zadań trudnych, czy też wręcz niemożliwych do wykonania. Rozwój technologii cyfrowych obecnie wyprzedza ich zastosowanie w GOZ. Jednocześnie ich powszechne zastosowanie napotyka na szereg barier. *Blockchain*, chmura obliczeniowa, *big data*, analityka predykcyjna czy sztuczna inteligencja, to skomplikowane technologie, wymagające specjalistycznej wiedzy, umiejętności i doświadczenia. Właśnie one stają się krytycznymi zasobami i barierą dla szerokiego stosowania technologii cyfrowych w GOZ. Barierą są także kompetencje kadry zarządzającej, której zadanie polega na stymulowaniu procesu wdrażania technologii cyfrowych w GOZ, śledzeniu ich rozwoju oraz inicjowaniu implementacji najnowszych rozwiązań. Inne bariery to niechęć przedsiębiorców do udostępniania własnych danych, wyzwania związane z bezpieczeństwem informacji i ochroną danych osobowych.

Optymalizacja ekonomiczna

Dla podjęcia własnych analiz kosztów i korzyści wynikających z transformacji GOZ wykorzystywane mogą być tablice kosztów jednostkowych opracowane dla transportu drogowego uważanego za jedną z najbardziej emisyjnych gałęzi transportu. Emisyjność procesów logistycznych oraz oszacowanie kosztów tych emisji będzie można wykonać dla trzech rodzajów konfiguracji procesów logistycznych pomiędzy pojedynczymi ogniwami łańcucha dostaw; w całej sieci logistycznej począwszy od miejsca wydobycia pierwotnych zasobów służących do wytworzenia danego produktu do miejsca jego sprzedaży lub miejsca odbioru przez ostatecznego użytkownika (w gospodarce liniowej); w całej sieci logistycznej począwszy od miejsca wydobycia pierwotnych zasobów przez miejsce odbioru przez ostatecznego użytkownika, i dalej w przypadku dóbr, które mogą podlegać recyklingowi,

aż do miejsca produkcji zasobu z odzysku (w GOZ). W analizach porównawczych pomiędzy emisyjnością liniowego łańcucha dostaw a ŁDOZ możliwe jest również posłużenie się techniką standardowo wykorzystywaną w analizach kosztów i korzyści, tj. różnicową metodą analiz. Dodatkowo, szczególnego znaczenia nabiera tu także odległość ekologiczna pomiędzy partnerami, która determinuje wybór dostawcy (i klienta). Odległość ekologiczna jest wkalkulowana w globalne koszty (eko)logistyczne i jest sumą wszystkich kosztów zewnętrznych łańcucha dostaw. Tym samym, w ramach podejścia systemowego w zarządzaniu ŁDOZ, mowa jest o współzależności kosztów zewnętrznych w ramach zmian dokonywanych w obrębie działań logistycznych wzdłuż całego łańcucha dostaw i potrzebie pomiaru globalnych zewnętrznych kosztów logistycznych.

Unikanie utraty możliwości maksymalizacji korzyści z kaskadowego użytkowania produktów wynikającego ze złej organizacji przepływów materiałów

Rozważając możliwości migracji w kierunku ŁDOZ, warto pamiętać o potrzebie dwustronności organizacji obiegów (biologicznego i technicznego) w ramach tej transformacji, tj. faktu, że wcześniejsze zaprojektowanie towaru (jego skład fizyczno-chemiczny) predefiniuje wachlarz możliwości domykania cykli w obiegach technicznych, czyli zakres jego odwrotnej wielokanałowości. To rozwiązanie ma bowiem charakter systemowy i w holistycznym ujęciu powinno wychodzić naprzeciw eliminacji odpadów z systemu gospodarczego będącego tu w szczególnej relacji z systemem ekologicznym i społecznym. Pytaniem kwalifikującym do badania było stwierdzenie przez respondentów, że ich przedsiębiorstwa realizują działania związane z ponownym wykorzystywaniem lub przetwarzaniem produktów w celu eliminacji odpadów. Jednocześnie, z repozytorium zróżnicowanych R-strategii realizujących to założenie, respondenci wskazali utylizację jako dominującą (choć na szczęście nie jedyną) R-strategię braną pod uwagę podczas projektowania ich produktów. Ta R-strategia należy zarówno do liniowych rozwiązań, jak i podstawowych (ograniczanych) strategii GOZ. Tym samym można przyjąć, że przedsiębiorcy są na bardzo wczesnym etapie ścieżki transformacji w kierunku GOZ. Poza tym zarządzający logistyką i łańcuchami dostaw w firmach deklarujących realizację działań związanych z ponownym wykorzystaniem lub przetworzeniem produktów celu eliminacji ich odpadów są odpowiedzialni za gospodarowanie odpadami poprodukcyjnymi, zwrotami produktów do ich ponownego zagospodarowania oraz opakowaniami „logistycznymi" (zbiorczymi). Jak się okazuje, także w obszarze gospodarki

odpadami czy też opakowaniami dominują rozwiązania plasujące przedsiębiorstwa na początku ścieżki transformacji w kierunku GOZ. Niewątpliwie spojrzenie przez pryzmat zarządzania łańcuchem dostaw będzie stanowiło dodatkowe, znaczące wyzwanie dla zarządzających w otoczeniu silnie instytucjonalnie nakierowanym na wdrażanie zasad zgodnych z GOZ w najbliższej przyszłości.

Reasumując, wyniki badania ukazują polskie przedsiębiorstwa i ich łańcuchy dostaw na wczesnym etapie transformacji w kierunku zgodnym z GOZ. Dominujące podejście ekonomiczne i brak świadomości przejawiająca się zarówno w postawach respondentów, jak i konsumentów, a także niewystarczające wsparcie instytucji formalnych w zdecydowany sposób ograniczają możliwość konkurowania poprzez R-strategie. Istnieje zatem potrzeba diagnozy dobrych, transferowalnych praktyk GOZ i ich upowszechnienie jako przykładów wspierających dostrzeganie szans wynikających z wdrażania R-strategii w polskich przedsiębiorstwach i tworzonych przez nie łańcuchach dostaw.

SPIS RYSUNKÓW

Rysunek 1. Części składowe zielonych łańcuchów dostaw 16
Rysunek 2. Liniowy i cyrkularny model SCOR 19
Rysunek 3. Ewolucja roli zrównoważonego rozwoju w zarządzaniu łańcuchami dostaw 20
Rysunek 4. Dominujące R-strategie związane z gospodarką odpadami poprodukcyjnymi (%) 22
Rysunek 5. R-strategie, które nie są stosowane i nie są planowane do wdrożenia w ramach gospodarki odpadami poprodukcyjnymi (%) 24
Rysunek 6. Charakterystyka opakowań zbiorczych i dominujące działania dotyczące gospodarki opakowaniami zbiorczymi (%) 25
Rysunek 7. Model ścieżki tworzenia wartości: od czynników współpracy do wskaźników finansowych 27
Rysunek 8. Wskazanie najczęstszych odpowiedzi w zakresie czynnika stymulującego pierwszego wśród polskich przedsiębiorstw dla samodzielnego projektowania i organizacji ponownego wykorzystania odpadów, zwrotów lub opakowań (%) 45
Rysunek 9. Odpowiedzi w zakresie uregulowań formalno-prawnych w podziale na wielkość przedsiębiorstwa (%) 49
Rysunek 10. Odpowiedzi w zakresie inflacji w podziale na wielkość przedsiębiorstwa (%) 49
Rysunek 11. Odpowiedzi w zakresie źródeł zaopatrzenia w podziale na wielkość przedsiębiorstwa (%) 50
Rysunek 12. Odpowiedzi w zakresie niestabilności prawa w podziale na wielkość przedsiębiorstwa (%) 50
Rysunek 13. Odpowiedzi w zakresie nieistotnej bariery – utrudnionego dostępu do rynków międzynarodowych w podziale na wielkość przedsiębiorstwa (%) 51
Rysunek 14. Odpowiedzi w zakresie nieistotnej bariery – wymogów spełnienia postulatów ESG w podziale na wielkość przedsiębiorstwa (%) 51
Rysunek 15. Odpowiedzi w zakresie nieistotnej bariery – wielkości firmy w podziale na wielkość przedsiębiorstwa (%) 52
Rysunek 16. Proces przygotowania analizy kosztów i korzyści 60
Rysunek 17. Faktyczny zasięg pojazdu ciężarowego (RT) wobec deklaracji producenckiej w zależności od sezonu realizacji przejazdu, stylu jazdy kierowcy i nachylenia terenu (a – teren płaski, b – teren górzysty) 72
Rysunek 18. Emisyjność CO_2 w poszczególnych państwach europejskich (ekwiwalent g CO_2/kWh) 76

SPIS TABEL

Tabela 1. Działania realizowane przez działy logistyki w obszarze GOZ 21
Tabela 2. R-strategie stosowane i planowane do wdrożenia w obszarze gospodarki odpadami po produkcji (%) 23
Tabela 3. Charakterystyka gospodarki opakowaniami zbiorczymi – działania stosowane i planowane do wdrożenia (%) 26
Tabela 4. Przykładowe programy i miary cyrkularności łańcuchów dostaw 29
Tabela 5. Komparastyka zakresów znaczeniowych niepewności i nieprzewidywalności 35
Tabela 6. Cele i metody budowy „łańcucha według 3A" 37
Tabela 7. Czynniki stymulujące poprawę wydajności gospodarowania zwrotami 42
Tabela 8. Czynniki ograniczające poprawę wydajności przepływów zwrotów 46
Tabela 9. Gradacja ważności czynników warunkujących zamykanie cykli przepływów w łańcuchach dostaw 53
Tabela 10. Częstości odpowiedzi w podziale na rodzaje występującej niepewności 55
Tabela 11. Zależność między czynnikami cyrkularności a niepewnością 55
Tabela 12. Wyniki testów zużycia paliwa pojazdów spalinowych uzyskane przez O. Delgado, F. Rodrigueza i R. Muncriefa 67
Tabela 13. Parametry pojazdów dostawczych Mercedes (wybranych pojazdów o napędzie spalinowym i pojazdów elektrycznych) zgodnie ze specyfikacją producenta 69
Tabela 14. Parametry komercyjnych pojazdów elektrycznych wybrane do analizy 70
Tabela 15. Emisyjność CO_2 przewozu wykonywanego pojazdem ciężarowym o średniej ładowności (RT) w zależności od scenariuszy rozwoju technicznego (t CO_2/przebieg w całym okresie użytkowania pojazdu) 79
Tabela 16. Zmonetyzowana emisyjność CO_2 przewozu wykonywanego pojazdem ciężarowym o średniej ładowności (RT) w zależności od scenariuszy rozwoju technicznego (EUR/przebieg w całym okresie użytkowania pojazdu, wartości dyskontowane) 80
Tabela 17. Emisyjność CO_2 przewozu wykonywanego pojazdem ciężarowym o dużej ładowności (TT) w zależności od scenariuszy rozwoju technicznego (t CO_2/przebieg w całym okresie użytkowania pojazdu) 82
Tabela 18. Zmonetyzowana emisyjność CO_2 przewozu wykonywanego pojazdem ciężarowym o dużej ładowności (TT) w zależności od scenariuszy rozwoju technicznego (EUR/przebieg w całym okresie użytkowania pojazdu, wartości dyskontowane) 83
Tabela 19. Zmonetyzowana emisyjność CO_2 przewozu wykonywanego pojazdem ciężarowym o średniej ładowności (RT) w zależności od scenariuszy rozwoju technicznego (EUR średnio na tonę w 18 letnim okresie użytkowania bez dyskontowania) 85
Tabela 20. Zmonetyzowana emisyjność CO_2 przewozu wykonywanego pojazdem ciężarowym o dużej ładowności (TT) w zależności od scenariuszy rozwoju technicznego (EUR średnio na tonę w 18 letnim okresie użytkowania bez dyskontowania) 86

BIBLIOGRAFIA

Aguilar P., Groß B., *Battery electric vehicles and fuel cell electric vehicles, an analysis of alternative powertrains as a mean to decarbonise the transport sector*, "Sustainable Energy Technologies and Assessments" 2022, 53.

Aitken J., *Supply Chain Integration within the Context of the Supplier Association*, Cranfield University, 1998, http://dspace.lib.cranfield.ac.uk/handle/1826/9990 (dostęp: 4.10.2022).

Akçalı E., Çetinkaya S., Üster H., *Network design for reverse and closed-loop supply chains: An annotated bibliography of models and solution approaches*, "Networks" 2009, vol. 53(3), s. 231–248.

Andersen M.S., *An introductory note on the environmental economics of the circular economy*, "Sustainable Science" 2007, vol. 2, s. 133–140.

Babich V., Hilary G., *Distributed Ledgers and Operations: What Operations Management Researchers Should Know About Blockchain Technology*, "Manufacturing and Service Operations Management" 2020, vol. 22, iss. 2.

Bag S., Pretorius J.H.C., Gupta S., Dwivedi Y.K., *Role of institutional pressures and resources in the adoption of big data analytics powered artificial intelligence, sustainable manufacturing practices and circular economy capabilities*, "Technological Forecasting & Social Change" 2021.

Baraniecka A., *Rozwój ekologistycznych łańcuchów dostaw jako skutek kryzysów: ekonomicznego i środowiskowego*, w: *Ekonomiczne, społeczne i środowiskowe uwarunkowania logistyki*, A. Skowrońska, J. Witkowski (red.), Prace Naukowe UE we Wrocławiu, nr 383, Wrocław, 2015, s. 241.

Barczak A., Dembińska I., Marzantowicz Ł., Nowicka K., Szopik-Depczyńska K., Rostkowski T., *The Impact of Unpredictable Factors on the Uncertainty's Structure in the Management of Logistics Processes*, "European Research Studies Journal" 2020, vol. XXIII, special issue 1.

Berkes F., Ross H., *Community Resilience: Toward an Integrated Approach*, "Society & Natural Resources" 2013, vol. 26, nr 1.

Block J.H., Block J., *The role of ego-control and ego-resiliency in the organization of behavior*, w: *Development of cognition, affect, and social relations: Minnesota Symposia on Child Psychology*, W.A. Collins (ed.), vol. 13, Erlbaum, Hillsdale 1980.

Boulding K.E., *The economics of the coming spaceship Earth*, "Environmental Quality in a Growing Economy" 1966, s. 3–14

Bressanelli G., Perona M., Saccani N., *Towards the circular supply chain: a literature review of challenges*, w: *Proceedings of the Summer School "Francesco Turco"*, 2018.

Brinch M., Stentoft J., Jensen J.K., Rajkumar C., *Practitioners understanding of big data and its applications in supply chain management*, "International Journal of Logistics Management" 2018, vol. 29, no. 2.

Chauhan C., Parida V., Dhir A., *Linking circular economy and digitalisation technologies: A systematic literature review of past achievements and future promises*, "Technological Forecasting & Social Change" 2022, vol. 177.

Christopher M., Peck H., *Building the resilient supply chain*, "International Journal of Logistics Management" 2004, vol. 15, no. 2.

Delgado O., Rodriguez F., Muncrief R., *Fuel Efficiency Technology in European Heavy-Duty Vehicles: Baseline and Potential for the 2020–2030 Time Frame*, ICCT 2017.

Dollinger M., Fischerauer G., *Model-Based Range Prediction for Electric Cars and Trucks under Real-World Conditions*, "Energies" 2021, s. 14.

Dull D., *Circular Supply Chains Will Shift SCOR Supply Chain Processes*, ASCM Insights, 11.12.19, https://www.ascm.org/ascm-insights/circular-supply-chains-will-shift-scor-supply-chain-processes/ (dostęp: 17.04.2022).

Economic Appraisal Vademecum 2021–2027, General Principles and Sector Applications, Komisja Europejska DG Regio 2021, https://jaspers.eib.org/knowledge/publications/economic-appraisal-vademecum-2021–2027-general-principles-and-sector-applications (dostęp: 4.10.2022).

European EV Charging Infrastructure Masterplan, ACEA 2022.

Fayed A.M., Ezzat M.O., Awny M.M., *Guidelines for selecting emerging technology features for cloud erp*, w: *Towards the Digital World and Industry X.0 – Proceedings of the 29th International Conference of the International Association for Management of Technology*, New York 2020.

Fiksel J., *Designing Resilient, Sustainable System*, "Environmental Science & Technology" 2003, 37(23).

Galvin R., Martulli A., Ruzzenenti F., *Does power curb energy efficiency? Evidence from two decades of European truck tests*, "Energy" 2021, 232.

Gattorna J., *Dynamiczne łańcuchy dostaw*, EuroLogistics 2013.

Ghisellini P., Cialani C., Ulgiati S., *A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems*, "Journal of Cleaner Production" 2016, vol. 114, s. 11–32.

Greyson J., *An economic instrument for zero waste, economic growth and sustainability*, "Journal of Cleaner Production" 2007, vol. 15, iss. 13–14, s. 1382–1390.

Growth within circular economy vision for a competitive Europe, Ellen MacArthur Foundation, McKinsey Center for Business and Environment, SUN, 2015.

Guide V.D.R. Jr, Van Wassenhove L.N., *The evolution of closed-loop supply chain research*, "Operations Research" 2009, vol. 57(1), s. 10–18.

Hassini E., Surti C., Searcy C., *A Literature Review and a Case Study of Sustainable Supply Chains with a Focus on Metrics*, "International Journal of Production Economics" 2012, vol. 140(1).

Ingemarsdotter E., Jamsin E., Balkenende R., *Opportunities and challenges in IoT-enabled circular business model implementation – A case study*, "Resources, Conservation & Recycling" 2020, s. 2.

Ciesielski M. (red.), *Instrumenty zarządzania łańcuchami dostaw*, PWE 2009, s. 128–133.

Ivanov D., Dolgui A., Sokolov B., *Cloud supply chain: Integrating Industry 4.0 and digital platforms in the "Supply Chain-as-a-Service"*, "Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review" 2022 vol. 160.

Ivanov D., Sokolov B., Kaeschel J., *A Multi-Structural Framework for Adaptive Supply Chain Planning and Operations Control with Structure Dynamics Considerations*, "European Journal of Operational Research" 2010, vol. 200, 2.

Jedliński M., Marzantowicz Ł., *Wpływ niepewności i nieprzewidywalności na procesy logistyczne*, „Problemy Transportu i Logistyki" 2017, nr 37.

Karwacka M., Łub P. (red.), *W kierunku gospodarki obiegu zamkniętego. Wyzwania i szanse*, Koalicja na rzecz Gospodarki Obiegu Zamkniętego Reconomy, Warszawa 2016, s. 7.

Kozielecki J., *Transgresja i kultura*, wyd. 2, Wydawnictwo Akademickie Żak, Warszawa 2002.

Lee H., *The Triple – A Supply Chain*, "Harvard Business Review" 2004, nr 10.

Lucini B., *What Is Resilience? The State of the Art*, w: *Disaster Resilience from a Sociological Perspective. Humanitarian Solutions in the 21st Century*, Springer, Cham 2014. DOI: 10.1007/978–3–319–04738-6_3 (dostęp: 4.10.2022).

Marzantowicz Ł., Dembińska I., *Introduction to the research of uncertainty in logistics management. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, volume 568, Annual Session of Scientific Papers "IMT ORADEA 2019", 30–31 May 2019, Oradea, Felix SPA, Romania, https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/568/1/012044/meta (dostęp: 4.10.2022).

Marzantowicz Ł., Ocicka B., Pluta-Zaremba A., *Ekologiczne podejście do tworzenia łańcucha wartości – stan i uwarunkowania*, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa, 2021.

Norris F.H., Stevens S.P., Pfefferbaum B., Wyche K.F., Pfefferbaum R.L., *Community resilience as a metaphor, theory, set of capacities, and strategy for disaster readiness*, "American Journal of Community Psychology" 2008, vol. 41, nr 1–2.

Nowicka K., *Rozwój świata wirtualnego i jego wypływ na e-mobilność*, w: *e-Mobilność – wizje i scenariusze rozwoju*, J. Gajewski, W. Paprocki, J. Pieriegud (red.), Publikacja Europejskiego Kongresu Finansowego, Instytut Badań nad Gospodarką Rynkową – Gdańska Akademia Bankowa, Gdańsk 2017, s. 53–54.

Nowicka K., Szymczak M., *Łańcuchy dostaw i logistyka w obliczu czwartej rewolucji przemysłowej*, w: *Gospodarka, rynek i państwo wobec rewolucji technologicznej*, K. Marchewka-Bartkowiak, M. Korolewska (red.), Studia Biura Analiz Sejmowych Kancelarii Sejmu, III kwartał 2020.

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

Nowicka K., *Trust in Digital Supply Chain Management*, "Logistics & Transport" 2018, vol. 39, no. 2.

Nowicka K., *Współpraca partnerska w łańcuchu dostaw*, „Gospodarka Materiałowa i Logistyka" 2011, nr 6.

Nowicka K., *Zielone łańcuchy dostaw 4.0*, w: *Polityka klimatyczna i jej realizacja w pierwszej połowie XXI wieku*, J. Gajewski, W. Paprocki (red.), Publikacja Europejskiego Kongresu Finansowego, Sopot 2020.

Nykvist B., Olsson O., *The feasibility of heavy battery electric trucks*, Joule 5, 2021, s. 901–913.

Paton D., Johnston D., *Disasters and communities: Vulnerability, resilience and preparedness*, "Disaster Prevention and Management: An International Journal" 2001, vol. 10, no. 4.

Pearce D.W., Turner R.K., *Economics of Natural Resources and the Environment*, Harvester Wheatsheaf, Hemel Hempstead 1990.

Peck H., *Reconciling supply chain vulnerability, risk and supply chain management*, "International Journal of Logistics: Research and Applications" 2006, vol. 9, no. 2.

Pishchulov G.V., Richter K.K., Pakhomova N.V., Tsenzharik M.K., *A circular economy perspective on sustainable supply chain management: An updated survey*, "St Petersburg University Journal of Economic Studies" 2018, vol. 34(2), s. 267–297. DOI: 10.21638/11701/spbu05.2018.204.

Polityka energetyczna Polski do 2040 r., Ministerstwo Klimatu i Środowiska, 2021, https://www.gov.pl/web/klimat/polityka-energetyczna-polski (dostęp: 4.10.2022).

Roged D.S., Tibben-Lembke R., *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices*, Reverse Logistics Executive Council, University of Nevada, Reno 1999.

Rutkowski K. (red.), *Best Practices in Logistics and Supply Chain Management. The Case of Poland,* Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2009.

Rutkowski K. (red.), *Najlepsze praktyki w zarządzaniu łańcuchem dostaw. Wyjść naprzeciw wyzwaniom społecznej odpowiedzialności biznesu*, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2008.

Sato S., Jiang J., Russell R.L., Miller J.W., Karavalakis G., Durbin T.D., Johnson K.C., *Experimental driving performance evaluation of battery-powered medium and heavy duty all-electric vehicles*, "International Journal of Electrical Power & Energy Systems" 2022, vol. 141.

Seuring S., Müller M., *From a Literature Review to a Conceptual Framework for Sustainable Supply Chain Management*, "Journal of Cleaner Production" 2008, vol. 16(15).

Shee H., Miah S.J., de Vass T., *IoT in Supply Chain Management: Opportunities and Challenges for Businesses in Early Industry 4.0 Context*, "Operations and Supply Chain Management An International Journal" 2020 vol. 14 iss. 2.

Sheffi Y., Rice J.B. Jr., *A Supply Chain View of the Resilient Enterprise*, "MIT Sloan Management Review" 2005, vol. 47, no. 1.

Simatupang T.M., Wright A.C., Sridharan R., *The knowledge of coordination for supply chain integration*, "Business Process Management Journal" 2002, vol. 8, nr. 3, s. 297–298.

Simatupang T.M., Sridharan R., *A benchmarking scheme for supply chain collaboration*, "Benchmarking An International Journal" 2004, vol. 11(1), s. 24. DOI:10.1108/14635770410520285.

Srivastave S.K., *Green Supply Chain Management: A State-of-the-Art Literature Review*, "International Journal of Management Reviews" 2007, vol. 9(1), s. 53–80.

Stahel W., Reday G., *Jobs for Tomorrow, the Potential for Substituting Manpower for Energy*, Vantage Press, New York 1981.

Stahel W., Reday G., *Report The Potential for Substituting Manpower for Energy 1976*, Vantage Press, New York 1976.

Stahel W., *The product-life factor*, w: *An Inquiry Into the Nature of Dustinable Docieties. The Role of the Private Sector*, S. Grinton Orr (ed.), Houston,1982, s. 72–104.

Stępka M., *Rezyliencja jako paradygmat bezpieczeństwa w czasach przewlekłych kryzysów*, „Przegląd Politologiczny" 2021, nr 2.

Sulejewicz, A. *Partnerstwo strategiczne: modelowanie współpracy przedsiębiorstw*, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 1997, s. 72.

Świerczek A., *Wykorzystanie podejścia multimetaforycznego w refleksji nad rzeczywistością organizacyjną rezylientnego łańcucha dostaw*, „Gospodarka Materiałowa i Logistyka" 2020, nr 3.

Szymczak M., *Elastyczność, wrażliwość i odporność jako cechy adaptacyjnych łańcuchów dostaw*, „Studia Oeconomica Posnaniensia" 2015, 3(6).

Tisseron S., *La Résilience*, PUF, Paris 2007.

Tsolakis N., Harrington T.S., Srai J.S., *Digital supply network design: a Circular Economy 4.0 decision-making system for real-world challenges*, "Production Planning & Control" 2021.

Tundys B., *Zielony łańcuch dostaw w gospodarce o okrężnym obiegu – założenia, relacje, implikacje*, w: *Ekonomiczne, społeczne i środowiskowe uwarunkowania logistyki*, A. Skowrońska, J. Witkowski (red.), Prace Naukowe UE we Wrocławiu, nr 383, Wrocław 2015, s. 293.

Vertgewall Ch.M., Trageser M., Kurth M., Ulbig A., *Modeling Probabilistic Driving and Charging Profiles of Commercial Electric Vehicles*, "Electric Power Systems Research" 2022, 212

Wang Y., Han J.H., Beynon-Davies P., *Understanding blockchain technology for future supply chains: a systematic literature review and research agenda*, "Supply Chain Management" 2018, s. 2.

Wenzhuo C., Jienan Z., Hong L., *Batteries with high theoretical energy densities*, "Energy Storage Materials" 2020, nr 26, s. 46–55.

Witkowski J., Pisarek A., *Istota zielonych łańcuchów dostaw – propozycja systematyzacji pojęć*, „Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe UE w Katowicach" 2017, vol. 315, s. 12.

Witkowski J., *Zarządzanie łańcuchem dostaw. Koncepcje, procedury, doświadczenia*, PWE, Warszawa 2003, s. 29.

Witkowski K., *Aspekty logistyki zwrotów i recyklingu tworzyw sztucznych*, w: *Ekonomiczne, społeczne i środowiskowe uwarunkowania logistyki*, A. Skowrońska, J. Witkowski (red.), Prace Naukowe UE we Wrocławiu, nr 383, Wrocław 2015.

Zhang Y., Venkatesh V.G., Liu Y., Wan M., Qu T., Huisingh D., *Barriers to smart waste management for a circular economy in China*, w: "Journal of Cleaner Production" 2019, s. 5

Zhu Q., Geng Y., Lai K., *Circular economy practices among Chinese manufacturers varying in environmental-oriented supply chain cooperation and the performance implications*, "Journal of Environmental Management" 2010, vol. 91(6), s. 1324–1331.

ANEKS

Rozkłady częstości dla zmiennych demograficznych w grupie respondentów zarządzających logistyką i łańcuchami dostaw – badanie CATI

		N	%
Geograficzny zakres działalności przedsiębiorstwa	Lokalny	5	2,48
	Regionalny	23	11,39
	Ogólnokrajowy	73	36,14
	Międzynarodowy	85	42,08
	Globalny	16	7,92
Okres funkcjonowania przedsiębiorstwa na rynku	1–3 lat	0	0,00
	4–5 lat	0	0,00
	5–10 lat	5	2,48
	Powyżej 10 lat	197	97,52
Liczba zatrudnionych	Mikro (do 9)	9	4,46
	Małe (10–49)	87	43,07
	Średnie (50–249)	59	29,21
	Duże (250+)	47	23,27
Główny dział PKD C, w których firma prowadziła działalność produkcyjną w ostatnim roku	Dział 10 – PRODUKCJA ARTYKUŁÓW SPOŻYWCZYCH	28	13,86
	Dział 11 – PRODUKCJA NAPOJÓW	2	0,99
	Dział 12 – PRODUKCJA WYROBÓW TYTONIOWYCH	0	0,00
	Dział 13 – PRODUKCJA WYROBÓW TEKSTYLNYCH	3	1,49
	Dział 14 – PRODUKCJA ODZIEŻY	2	0,99
	Dział 15 – PRODUKCJA SKÓR I WYROBÓW ZE SKÓR WYPRAWIONYCH	4	1,98
	Dział 16 – PRODUKCJA WYROBÓW Z DREWNA ORAZ KORKA, Z WYŁĄCZENIEM MEBLI; PRODUKCJA WYROBÓW ZE SŁOMY I MATERIAŁÓW UŻYWANYCH DO WYPLATANIA	13	6,44
	Dział 17 – PRODUKCJA PAPIERU I WYROBÓW Z PAPIERU	9	4,46
	Dział 18 – POLIGRAFIA I REPRODUKCJA ZAPISANYCH NOŚNIKÓW INFORMACJI	2	0,99
	Dział 19 – WYTWARZANIE I PRZETWARZANIE KOKSU I PRODUKTÓW RAFINACJI ROPY NAFTOWEJ	0	0,00

	Dział 20 – PRODUKCJA CHEMIKALIÓW I WYROBÓW CHEMICZNYCH	5	2,48
	Dział 21 – PRODUKCJA PODSTAWOWYCH SUBSTANCJI FARMACEUTYCZNYCH ORAZ LEKÓW I POZOSTAŁYCH WYROBÓW FARMACEUTYCZNYCH	2	0,99
	Dział 22 – PRODUKCJA WYROBÓW Z GUMY I TWORZYW SZTUCZNYCH	22	10,89
	Dział 23 – PRODUKCJA WYROBÓW Z POZOSTAŁYCH MINERALNYCH SUROWCÓW NIEMETALICZNYCH	12	5,94
	Dział 24 – PRODUKCJA METALI	12	5,94
	Dział 25 – PRODUKCJA METALOWYCH WYROBÓW GOTOWYCH, Z WYŁĄCZENIEM MASZYN I URZĄDZEŃ	31	15,35
	Dział 26 – PRODUKCJA KOMPUTERÓW, WYROBÓW ELEKTRONICZNYCH I OPTYCZNYCH	5	2,48
	Dział 27 – PRODUKCJA URZĄDZEŃ ELEKTRYCZNYCH	8	3,96
	Dział 28 – PRODUKCJA MASZYN I URZĄDZEŃ, GDZIE INDZIEJ NIESKLASYFIKOWANA	13	6,44
	Dział 29 – PRODUKCJA POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH, PRZYCZEP I NACZEP, Z WYŁĄCZENIEM MOTOCYKLI	3	1,49
	Dział 30 – PRODUKCJA POZOSTAŁEGO SPRZĘTU TRANSPORTOWEGO	2	0,99
	Dział 31 – PRODUKCJA MEBLI	11	5,45
	Dział 32 – POZOSTAŁA PRODUKCJA WYROBÓW	12	5,94
	Dział 33 – NAPRAWA, KONSERWACJA I INSTALOWANIE MASZYN I URZĄDZEŃ	1	0,50
Szacowany udział rodzajów wytwarzanych wyrobów (średnia)	Surowce (wydobycie, przetworzenie, produkcja)	11,86	
	Półprodukty, komponenty	11,71	
	Wyroby gotowe	75,32	
Wiodący typ produkcji dla surowców (wydobycie, przetworzenie, produkcja) *	Masowa	6	13,33
	Wielkoseryjna	12	26,67
	Średnioseryjna	19	42,22
	Małoseryjna	6	13,33
	Jednostkowa (indywidualna)	2	4,44
Wiodący typ produkcji dla półproduktów i komponentów*	Masowa	14	22,22
	Wielkoseryjna	17	26,98
	Średnioseryjna	20	31,75
	Małoseryjna	10	15,87
	Jednostkowa (indywidualna)	2	3,17

Wiodący typ produkcji dla wyrobów gotowych*	Masowa	15	25,42
	Wielkoseryjna	18	30,51
	Średnioseryjna	22	37,29
	Małoseryjna	1	1,69
	Jednostkowa (indywidualna)	3	5,08

* Produkcja masowa; wielkoseryjna (od 2 do 5, a niekiedy do 10 części i operacji w okresie powtarzalności), średnioseryjna (od 5 do 25 części i operacji w okrasie powtarzalności), małoseryjna (od 25 do 50, a czasami 100 części i operacji, produkcje są niewielkie, czas obróbki wynosi do kilku godzin).

Źródło: opracowanie własne.

Wyniki badań nad zrównoważonym rozwojem wciąż wskazują na aspekty ekonomiczne jako kluczowe determinanty zarządzania. Miasta natomiast nieustannie borykają się z problemem proekologicznej i prospołecznej organizacji ich funkcjonowania. Istnieje zatem konieczność poszukiwania rozwiązań wychodzących naprzeciw proekologicznym i prospołecznym postulatom kształtującym wybory zarządzających. Jednym z nich jest zarządzanie zgodne z zasadami gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ), osadzone w zachodzących zmianach technologicznych i wymogach zrównoważonego rozwoju. Jego celem jest innowacyjne wydłużanie cyklu życia (produktu), zakładające eliminację kosztów zewnętrznych. Jest to realizowane w określonym otoczeniu instytucjonalnym (formalnym i nieformalnym) i podlega wewnętrznym czynnikom organizacji modeli biznesu, łańcuchów dostaw i miast. Niniejsza, dwuczęściowa, publikacja przedstawia stan i uwarunkowania transformacji w kierunku GOZ.

„Recenzowane opracowanie jest monografią, której walory dostrzegam w doborze zakresu problematyki i doświadczeń praktycznych przedsiębiorstw oraz miast, tak w zakresie rozwoju, jak i wdrażania gospodarki o obiegu zamkniętym. Książka jest wartym publikacji opracowaniem skierowanym do naukowców, studentów i praktyków zarządzania przedsiębiorstwami oraz jednostkami terytorialnymi. Publikacja ma walory zarówno naukowe, jak i edukacyjne. Na uwagę zasługują przedstawione wyniki badań, przeprowadzone w oparciu o losowo dobraną próbę badawczą. Opracowanie można uznać za swego rodzaju repozytorium wiedzy w zakresie gospodarki o obiegu zamkniętym, które może stanowić przewodnik dla zainteresowanych wdrażaniem wspomnianej koncepcji".

prof. dr hab. Sabina Kauf

„Opracowana monografia naukowa stanowi nowość na rynku polskim. Do tej pory nie pojawiła się publikacja, która w tak szerokim zakresie odnosiłaby się do problematyki gospodarki o obiegu zamkniętym. Zasadne wydaje się podejmowanie wskazanego tematu i eksplorowanie tematyki, zarówno w ujęciu teoretycznym, jak i praktycznym. Dzięki temu nie tylko rozszerzamy wiedzę w dyscyplinie nauk o zarządzaniu i jakości, ale także prezentowane są praktyczne rozwiązania dla podmiotów gospodarczych, co ma bardzo ważne znaczenie i spełnia cele utylitarne prac naukowych. Metodologie wykorzystane w pracy, zarówno w kontekście teoretycznym, jak i praktycznym należy ocenić pozytywnie. Wykorzystano różne metodyki stosowane i uznane w dyscyplinie nauk o zarządzaniu i jakości. Sformułowane wnioski wskazują na dojrzałość naukową Autorów, znajomość podejmowanej tematyki, umiejętność prowadzenia badań naukowych, dopasowania ich zakresu do tematu, jak i doboru odpowiedniej metodyki".

dr hab. Blanka Tundys, prof.US

OFICYNA WYDAWNICZA SGH
SZKOŁA GŁÓWNA HANDLOWA W WARSZAWIE
www.wydawnictwo.sgh.waw.pl

ISBN 978-83-8030-596-0