

Zastosowanie metody delfickiej do oceny możliwości wdrożenia innowacyjnych rozwiązań Przemysłu 4.0 w obszarze logistyki na przykładzie przedsiębiorstwa produkcyjno-usługowego

Aleksandra Breńko

Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania

e-mail: olenka081929@wp.pl

Anna Kononiuk 

Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania

e-mail:a.kononiuk@pb.edu.pl

Streszczenie

Celem artykułu jest prezentacja możliwości wdrożenia innowacyjnych rozwiązań Przemysłu 4.0 w przedsiębiorstwie produkcyjno-usługowym. W artykule zaprezentowano syntezę prac studialnych z zakresu megatrendów wpływających na współczesną logistykę, Przemysłu 4.0 oraz metody delfickiej. Zastosowanie metody delfickiej pozwoliło na wyznaczenie perspektyw rozwoju przedsiębiorstwa w obszarze logistyki. W szczególności, rezultaty badawcze pozwoliły na uzyskanie informacji na temat najistotniejszych innowacji dla rozwoju logistyki, prawdopodobnego czasu ich wdrożenia oraz na zidentyfikowanie najważniejszych czynników sprzyjających ich wdrożeniu oraz barier utrudniających wprowadzenie zaproponowanych innowacji. Zaprezentowane badania mogą znaleźć praktyczne zastosowanie w przedsiębiorstwach produkcyjno-usługowych, które zamierzają wprowadzić usprawnienia w obszarze logistyki.

Słowa kluczowe

megatrendy, Przemysł 4.0, logistyka, metoda delficka

Wstęp

W czasach hiperkonkurencji, globalizacji oraz niepewności otoczenia, nowoczesne zarządzanie logistyczne nabiera szczególnego znaczenia [Gołębska, 2013, s. 7]. Wielozadaniowość współczesnej logistyki oraz jej globalny charakter stanowią jeden z najistotniejszych elementów obecnej gospodarki [Bujak, 2017, s. 1338]. Sytuacja ta powoduje, że warunkiem zdobycia przewagi konkurencyjnej przez przedsiębiorstwa są kluczowe kompetencje logistyczne. Wiedza logistyczna pomaga w budowaniu ekonomicznie racjonalnych oraz sprawnych systemów gospodarowania zasobami ludzkimi i rzeczowymi [Gołębska, 2013, s. 7]. Podstawowe korzyści i zalety logistyki wynikają z jej kompleksowego oraz umiejętnego wkomponowania w mechanizm i strukturę zarządzania przedsiębiorstwem a także w proces współpracy z jego rynkowymi partnerami. W wysoko rozwiniętych krajach koncepcja logistyki wykorzystywana jest w coraz większej skali i osiąga coraz lepsze efekty [Blaik, 2017, s. 11].

Dynamika zmian we współczesnym świecie sprawia, że w logistyce coraz częściej wprowadzane są innowacyjne rozwiązania. Decydują one często o pozycji przedsiębiorstwa w otoczeniu poprzez wzrost atrakcyjności towarów i usług [Bujak, 2011, s. 90]. Wśród przedsiębiorstw, które wykorzystują różne strategie logistyczne znacznym zainteresowaniem cieszą się zaawansowane technologie informatyczne. Innowacyjność w logistyce przyczynia się głównie do: ograniczenia czasu i kosztów procesów logistycznych, wzrostu jakości produktów, ograniczenia czasu obsługi klientów, usprawnienia organizacji pracy oraz zdolności eksportowych [Tylżanowski, 2013, s. 289-293].

W artykule skupiono się na ocenie możliwości wdrożenia innowacyjnych rozwiązań technologicznych z obszaru Przemysłu 4.0 w przedsiębiorstwie produkcyjno-usługowym. Podstawę identyfikacji rozwiązań technologicznych stanowiła synteza prac studialnych z zakresu megatrendów kształtujących współczesną logistykę.

1. Megatrendy kształtujące współczesną logistykę

Logistyka jest branżą, która ze względu na swoje znaczenie i rolę w gospodarce wciąż ewaluje by spełnić wymagania nowoczesnego biznesu oraz dostosować się do gwałtownych zmian w otoczeniu. Musi ona nie tylko nadążać za współczesnymi zmianami, ale także w niektórych wypadkach je wyprzedzać spełniając jednocześnie oczekiwania klientów [Bujak, 2016, s. 1257]. Wymaga to zauważenia nowych uwa-

runkowań i wyzwań stawianych przed logistyką oraz wieloaspektowej analizy wzajemnych realizacji [Bujak, 2016, s. 1257]. Wśród uwarunkowań współczesnego otoczenia gospodarczego należy wskazać na megatrendy kształtujące zjawiska w analizowanym obszarze [Wincewicz-Bosy, Łupicka i Stawiarska, 2017, s. 42]. W odniesieniu do logistyki, można je zdefiniować jako siły pojawiające się lokalnie lub globalnie, zmieniające fundamentalnie sposób działania i konkurowania logistycznych podmiotów gospodarczych, które wpływają na wiele aspektów funkcjonowania społeczeństw i całej logistyki.

Jednym z kluczowych megatrendów, które kształtują planowanie oraz realizację zadań logistycznych jest globalizacja [Bujak, 2016, s. 1262-1263]. Dzieje się tak ze względu na to, że współczesne gospodarki są od siebie coraz bardziej uzależnione. Następuje wzrost wielości oraz wielkości transakcji związanych z wymianą usług i towarów. Wzrasta również szybkość przepływów kapitałów oraz rozprzestrzeniania się zaawansowanych technologii [Kłosiński, 2007, s. 6].

Kolejnym megatrendem, będącym jednym z rezultatów globalizacji, jest indywidualizacja [Handfield, 2013, s. 8]. Prowadzi ona do zwiększenia liczby odmian produktów oraz zróżnicowania wzorców usług. Spełnienie oczekiwań współczesnych klientów jest możliwe tylko dzięki zidentyfikowaniu ich potrzeb na wczesnym etapie w procesie budowania logistycznej strategii. Indywidualizacja szczególnie stawia wyzwanie logistyce dystrybucji. Uczestnicy rynku oczekują dostaw zindywidualizowanych towarów zaraz po zawarciu transakcji handlowych przez Internet. Wymaga to od istniejących sieci logistycznych szybkiego i efektywnego działania zarówno w globalnym jaki i lokalnym wymiarze przestrzennym.

W ostatnich latach w obszarach zróżnicowanej działalności biznesowej człowieka coraz częściej przywiązywana jest uwaga do problemów dotyczących ekologii i ochrony środowiska. W wyniku tego istotnym megatrendem stał się zrównoważony rozwój. Można go definiować jako *prawo do zaspokojenia aspiracji rozwojowych obecnej generacji bez ograniczania praw przyszłych pokoleń do zaspokojenia ich potrzeb rozwojowych*. Definicja ta wskazuje na to, że rozwój cywilizacyjny obecnego pokolenia nie może odbywać się kosztem niszczenia środowiska dla przyszłych pokoleń, które będą miały prawa do swego rozwoju [Płaczek, 2012, s. 79-84]. Zrównoważony rozwój stanowi integralny element strategii biznesowych przedsiębiorstw i zyskuje coraz większe znaczenie w ich innowacyjności i rozwoju [Ocicka, 2017, s. 43]. Działalność logistyczna generuje określone korzyści ekonomiczne, ale też równocześnie negatywnie wpływa na środowisko. Centralne miejsce oddziaływań środowiskowych logistyki zajmują procesy magazynowania, procesy zarządzania opakowaniami oraz procesy transportowe [Misztal, 2017, s. 205].

Zrównoważonemu rozwojowi w obszarze logistyki sprzyjają także [Misztal, 2017, s. 205]:

- koncepcja *just-in-time*,
- inteligentne systemy transportowe,
- szybkie reagowanie – QR,
- centra logistyczne,
- efektywna obsługa klienta,
- czyste procesy logistyczne.

Warto zaznaczyć, że postawa proekologiczna przedsiębiorstwa z sektora logistycznego wpływa na korzystniejszy wizerunek oraz lepsze postrzeganie przedsiębiorstwa przez klientów. Przekłada się to na jego konkurencyjność oraz wzrost przychodów [Płaczek, 2011, s. 749].

W ostatnich latach można zaobserwować rosnące znaczenie Przemysłu 4.0 w obszarze logistyki oraz związanych z nim takich pojęć jak: *Big Data*, *cloud computing*, (*Augmented Reality – AR*), druk 3D bądź inteligentna fabryka.

Pojęcie *Big Data* stosowane jest do określania cyfrowych zbiorów danych, które są gromadzone i udostępniane poprzez sieci telekomunikacyjne [Łada, 2017, s. 201]. Zbiory danych charakteryzują się różnorodnością formatów, masowością, szybkością pozyskiwania oraz przekazywania informacji [Łapko i Wagner, 2019, s. 38]. Pojawienie się *Big Data* jest związane z rozwojem technologicznym oraz masową danyfikacją rzeczywistości, polegającą na stałym rozszerzaniu zakresu wirtualnej rejestracji i realnej aktywności urządzeń i ludzi [Łada, 2017, s. 201]. Analizy *Big Data* zmieniają paradygmat analizy informacji. Zmiany te wyrażają się w [Misztal, 2017 s. 205], [Gajewski i in., 2015, s. 61]:

- zdolności analizowania ogromnych ilości danych, przy braku konieczności ograniczania się do zbiorów mniejszych;
- gotowości do pracy z danymi nieuporządkowanymi oraz danymi o niskiej dokładności;
- rosnącym znaczeniu korelacji, skłaniającym do szukania związków między zjawiskami, a nie ich przyczyn.

Współczesna logistyka opiera się na przetwarzaniu bardzo dużej ilości danych. Cyfryzacja daje możliwość pozyskiwania ich z różnych źródeł w łańcuchu dostaw [Logistics Trend Radar, 2018, s. 39]. Dane mogą pochodzić z dokumentów elektronicznych, sensorów, skanerów kodów kreskowych, smartfonów, komputerów, czytników RFID czy serwisów społecznościowych [Galińska, Kopania i Walaszczyk, 2017, s. 49]. Na podstawie analiz *Big Data* tworzonych jest wiele rozwiązań w różnych obszarach logistyki. Przykładowe obszary zastosowań *Big Data* w logistyce zostały przedstawione w tab. 1.

Tab. 1. Wybrane obszary wykorzystania *Big Data* w logistyce

Obszary wykorzystania <i>Big Data</i> w logistyce	
Obsługa klienta	Zgromadzone dane o klientach pozwalają na dokładne sprecyzowanie profilu ich potrzeb oraz skuteczne sprzedawanie im właściwych rozwiązań. Analiza zachowań nabywczych klientów pozwala sprzedawcom internetowym przewidzieć czego będą potrzebowali. Umożliwia to także oferowanie dostaw tego samego dnia
Prognozowanie zamówień	Urządzenia zarządzające zapasem przy pomocy uczących się algorytmów mogą przewidywać termin realizacji nowych zamówień
Zarządzanie transportem	Analiza danych z sensorów umożliwia monitoring warunków transportu w rzeczywistym czasie oraz kontrolę fizycznego stanu przesyłki. Skutkuje to podniesieniem przejrzystości wykonywanych operacji
Optymalizacja „ostatniej mili”	Optymalizacja tras dostaw w rzeczywistym czasie umożliwia zmniejszenie kosztów kurierskiego serwisu. Optymalizacja trasy pozwala także na oszczędzanie czasu przybycia
Zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw	Monitoring sił wpływających na łańcuch dostaw. Analiza danych może być wykorzystana do ograniczenia ryzyka przez ocenę, wykrywanie oraz ostrzeganie o potencjalnych zakłóceniach wynikających z nieoczekiwanych zdarzeń
Planowanie popytu w sieci dystrybucji	Łączenie różnych źródeł danych o zapotrzebowaniu i klientach, sezonowości, danych historycznych, trendów w przepływie towarów w celu tworzenia prognoz popytu
Przydział operacyjnych zasobów	Analiza danych z sensorów i systemu magazynowego o przesyłkach, klientach czy narodowych świętach umożliwia zaplanowanie ładowności środka transportu oraz zaplanowanie godzin pracy personelu w magazynie lub centrum dystrybucji. Pozwala to na zwiększenie wydajności zasobów oraz zmniejszenie niepotrzebnych kosztów w łańcuchu dostaw

Źródło: [Galińska i in., 2017, s. 50; Logistics Trend Radar, 2018, s. 39].

Dzięki metodom analizy *Big Data* operatorzy logistyczni mogą wyciągnąć wnioski z bardzo dużych wolumenów danych, powstających na skutek masowego przepływu dóbr w tym samym czasie.

Kolejny megatrend dotyczy zastosowania *cloud computing* w logistyce, czyli „logistyki w chmurze”. Związany jest ze zwiększeniem jej wydajności w niepewnym, zmiennym oraz złożonym otoczeniu. Koncepcja ta określana jest jako otoczenie wirtualnych systemów ułatwiających koordynację łańcuchów dostaw oraz wykorzystanie zdolności biznesowych, zasobów oraz usług partnerów łańcucha za pomocą nowoczesnych technologii informacyjno-komunikacyjnych wykorzystujących aplikacje internetowe i usługi [Żurak-Owczarek, 2014, s. 1283]. Dostawcy usług logistycznych wykorzystują *cloud logistics*, gdyż umożliwia wydajny, elastyczny oraz szybki dostęp do usług IT w odniesieniu do innowacyjnych rozwiązań

w łańcuchu dostaw. Modułowe platformy logistyczne oparte na chmurze oferują przy pomocy sieci dostęp do wielu usług informatycznych dotyczących logistyki na żądanie, które można w łatwy sposób zintegrować z procesami w łańcuchu dostaw. Globalne łańcuchy dostaw mogą wirtualizować przepływy materiałów oraz informacji przenosząc procesy łańcucha dostaw do „chmury” [Logistics Trend Radar, 2018, s. 42]. Warto zaznaczyć, że na rynku istnieje wiele systemów „w chmurze” dedykowanych logistyce. Należą do nich między innymi systemy klasy: CRM (*Customer Relationship Management*), SCE (*Supply Chain Execution*), SCM (*Supply Chain Management*), ERP (*Enterprise Resource Planning*), WMS (*Warehouse Management System*), MES (*Manufacturing Execution Systems*) bądź TMS (*Transportation Management System*) [Malinowska i Rzeczycki, 2016, s. 168].

Kolejnym trendem technologicznym, który znacząco wpływa na rozwój logistyki jest rzeczywistość rozszerzona (AR). Jest to technologia oparta na funkcjonowaniu skomplikowanych algorytmów, które umożliwiają rozpoznawanie obrazów w czasie rzeczywistym i przetwarzanie danych w celu przedstawiania ich na ekranach użytkowników [Bukała i Tereszkiwicz, 2014, s. 907]. Technologia ta należy do obszaru informatyki, który łączy świat rzeczywisty z elementami świata wirtualnego przy jednoczesnym zapewnianiu użytkownikowi swobody ruchów [Rusek, Pniewski, 2017, s. 1573]. Impulsem do rozwoju technologii AR jest powszechna dostępność mobilnych urządzeń [Bukała, i Tereszkiwicz, 2015, s. 2702].

Innym trendem, który wykorzystany na szeroką skalę w przyszłości może zrewolucjonizować logistykę jest druk 3D określany często mianem produkcji przyrostowej [Łapko i Wagner, 2019, s. 37]. Jest ona rozumiana jako zbiór technologii pozwalających na łączenie materiałów w celu wytwarzania trójwymiarowych fizycznych obiektów na podstawie ich modelu komputerowego [Ocicka i Rutkowska, 2017, s. 3]. Drukowanie 3D polega na wykonaniu następujących działań:

- stworzeniu cyfrowego projektu produktu w specjalnym oprogramowaniu;
- wyborze drukarki 3D odpowiednio do rozmiarów produktu końcowego;
- dostarczeniu do drukarki właściwego materiału, z którego ma powstać produkt.

Metoda drukowania powinna być zgodna z potrzebami produktu końcowego. Według raportu Sculpteo aktualnymi technikami druku 3D są: selektywne spiekanie środków materiałowych, modelowanie ciekłym tworzywem termoplastycznym oraz stereolitografia [Ocicka i Rutkowski, 2017, s. 3].

Przemysł inteligentny wymaga odpowiedniej lokalizacji oraz organizacji procesu produkcyjnego. Istotną rolę w koncepcji Przemysłu 4.0 odgrywają inteligentne fabryki, w których wykorzystywane są zaawansowane technologie produkcyjne

[Demińska i in., 2018, s. 61]. Definiowane są one jako fabryki, które celowo wspomagają zasoby ludzkie i maszyny w wykonywaniu ich zadań przy użyciu systemów cyber-fizycznych, Internetu rzeczy czy sztucznej inteligencji [Wittbrodt i Łapuńska]. Produkcja w takiej fabryce zakłada integrację wszystkich produkcyjnych zasobów w wyniku wykorzystywania sensorów, technologii komunikacyjnych, platform obliczeniowych oraz modelowania danych, sterowania, inżynierii predykcyjnej i symulacji.

Zarządzanie informacjami oraz produkcją umożliwia stosowanie nowych oraz rozwijających się technologii. Pozwalają one także na wdrażanie nowych metod wytwarzania [Mychlewicz i Piątek, 2017, s. 18]. Przykładowe rozwiązania technologiczne, które obecnie najczęściej są wykorzystywane w inteligentnych fabrykach to (rys. 1) [Kiraga, 2016, s. 1604]:

- CPS (*Cyber-Physical System*), czyli systemy cyber-fizyczne umożliwiające budowę inteligentnych sieci kontaktów między produktami, produkcyjnymi zasobami oraz ludźmi;
- NFC (*Near Field Communication*), umożliwiający przy pomocy zbliżenia komunikację między dwoma elementami;
- RFID (*Radio Frequency Identification*), czyli odczyt danych z mikroprocesorów lub etykiet przy pomocy komunikacji opartej na falach radiowych;
- roboty mobilne, czyli transportowe roboty autonomiczne przemieszczające towary na terenie zakładu produkcyjnego;
- rozszerzona rzeczywistość (*AR*), czyli wizualizacja cyfrowa planowanych lub niewidocznych elementów na obiektach rzeczywistych wspierana przez interfejsy mobilne;
- aplikacje monitorujące zużycie energii w liniach produkcyjnych.

Wykorzystywanie nowych rozwiązań technologicznych w fabrykach przyczynia się do powstawania inteligentnych sieci dostaw. Zarządzanie dostawami oraz procesami logistycznymi związanymi z produkcją odbywa się przy pomocy dedykowanych do tego systemów. Umożliwiają one optymalizację procesów transportowych oraz śledzenie przepływu materiałów. Dzięki nowoczesnym technologiom możliwe jest także responsywne wytwarzanie, czyli produkowanie towarów odpowiadającym indywidualnym potrzebom klienta. Proces produkcyjny staje się bardziej elastyczny oraz reaguje na zmiany wytycznych [Iwański i Gracel, 2016, s. 24].



Rys. 1. Najczęściej stosowane rozwiązania technologiczne w inteligentnych fabrykach

Źródło: [Kiraga, 2016, s. 1604].

Przedstawione megatrendy nie wyczerpują katalogu obszarów zmian, które mają wpływ na współczesną logistykę [Bujak, 2016a, 1265-1266]. Należy pamiętać, że logistyka zmieniała się i wciąż będzie się zmieniać. Bez wątpienia stanowi ona dźwignię rozwoju gospodarczego. Powinna być postrzegana nie tylko jako dziedzina, która podnosi odpowiedzialność za podejmowane działania, ale także jako nowoczesna koncepcja gotowa na nowe wyzwania oraz zagrożenia [Bujak, 2016a, s. 1260]. Stąd istotne wydaje się prowadzenie badań i analiz w sferze logistyki w celu wyznaczenia wymogów wobec perspektywicznego systemu logistycznego [Bujak i in., 2015, s. 223].

2. Metoda delficka – główne założenia

Na potrzeby empirycznej części artykułu, przeprowadzono badanie, którego celem jest wyznaczenie perspektyw rozwoju logistyki przedsiębiorstwa produkcyjno-usługowego, którego obszarem aktywności jest branża budowlana. Badanie zostało przeprowadzone metodą delficką. Metoda delficka to rodzaj badania eksperckiego, w którym opinie ekspertów, często intuicyjne, traktowane są jako znaczący wkład w ustalaniu wizji przyszłości przedmiotu badań [Kononiuk i in., 2021, s. 141; Radziszewski, 2016, s. 34; Nazarko et al., 2015]. W literaturze istnieje wiele definicji tej metody (tab. 2).

Warto zaznaczyć, że jest to metoda wieloetapowa. Ekspertci wypełniają kwestionariusz ankiety i formułują prognozy dotyczące rozwoju wydarzeń w danej perspek-

tywie czasowej. W kolejnym etapie wypełniają ten sam kwestionariusz wraz z opisem statystycznym wyników pierwszego etapu. Ekspertci mogą wyrazić swoje opinie bez konieczności bezpośredniej interakcji [Kowalewska i Głuszyński, 2009, s. 18].

Tab. 2. Definicje metody delfickiej

Autor	Definicja metody delfickiej
H.A. Linstone, M. Turoff	To sposób strukturalizowania procesu komunikacji grupowej w celu zapewnienia skuteczności działania zbiorowości, niezależnych osób, które jako całość dążą do rozwiązywania określonego, złożonego problemu
J. Schroeder	Polega na opracowaniu następujących po sobie ankiet, przeplatanych na zasadzie sprzężenia zwrotnego informowaniem i podawaniem opinii ekspertów uzyskanych w poszczególnych fazach ankietowania w celu uzyskania zbieżnych opinii w omawianych kwestiach
B. Mikuła	Pozwala zdobyć wiedzę na temat przyszłości na podstawie opinii ekspertów i odrzucenia skrajnych poglądów; służy do prognozowania rozwoju techniki, rozwoju gospodarczego lub innych przejawów ludzkiej działalności
Z. Martyniak	To syntetyzowanie intuicyjnych prognoz ekspertów prowadzące do stopniowego uzyskania coraz większej zbieżności szacunków i propozycji

Źródło: [Ziółkowski i Jankowska-Michułowicz, 2016, s. 11].

Metoda ta może być wykorzystywana w badaniach do wskazywania tendencji rozwojowych bądź określania obszarów konsensusu. Dostarcza ona przydatnych wyników w trakcie wyznaczania czasu wystąpienia danego zdarzenia lub zjawiska [Ziółkowski i in., 2016, s. 21-22]. Należy zaznaczyć, że metoda delficka ma nie tylko zastosowania w badaniach o przyszłej rzeczywistości, ale także nadaje się do analizy rzeczywistości już istniejącej [Sudoł, 2016, s. 71]. Metoda ta ma charakter uniwersalny i stosowanie jej tylko do badania przyszłości jest niepotrzebnym jej zawężeniem. Metoda delficka sprawdza się szczególnie w sytuacjach uznawanych za trudne do rozwiązania. Takie sytuacje występują, gdy:

- problem nie może być rozwiązany przy pomocy technik analitycznych;
- specjaliści, którzy rozwiązują dany problem nie mogą się bezpośrednio komunikować;
- liczba specjalistów jest zbyt duża, aby mogli efektywnie pracować razem nad rozwiązaniem problemu;
- brak środków finansowych oraz czasu uniemożliwia organizację spotkań grupowych;
- dominujące są problemy etyczne lub społeczne.

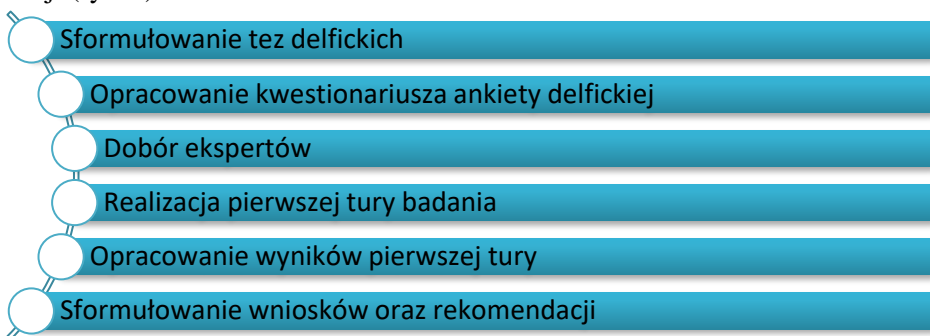
Zastosowanie metody delfickiej jest także uzasadnione w przypadku sytuacji wysokiej niepewności, czyli wówczas gdy [Matejun, 2012, s. 176]:

- dostępne dane nie są przydatne przy rozwiązywaniu problemu,
- występują braki w danych,
- występują kosztowe oraz czasowe ograniczenia podczas zbierania danych,
- nieznanne są interakcje między zmiennymi dotyczącymi problemu.

W kolejnej części artykułu, przedstawiono możliwości zastosowania metody delfickiej w przedsiębiorstwie produkcyjno-usługowym.

3. Metodyka badania delfickiego w przedsiębiorstwie produkcyjno-usługowym

Do określenia możliwości rozwoju logistyki w przedsiębiorstwie produkcyjno-usługowym zaprojektowano metodykę badawczą opartą na metodzie delfickiej. Szczegółowa metodyka badawcza składała się z sześciu etapów: sformułowania tez delfickich, opracowania kwestionariusza ankiety delfickiej, doboru ekspertów, I tury badania, opracowanie wyników I tury oraz ze sformułowania wniosków oraz rekomendacji (rys. 2).



Rys. 2. Etapy badania delfickiego zrealizowanego w przedsiębiorstwie usługowo-produkcyjnym

Źródło: opracowanie własne.

W pierwszym etapie postępowania badawczego sformułowano dziesięć tez delfickich dotyczących innowacyjnych rozwiązań Przemysłu 4.0 dedykowanych logistyce przedsiębiorstwa. Do wyprowadzenia tez posłużyły bezpośrednie obserwacje działań logistycznych w przedsiębiorstwie oraz analiza wniosków na temat wdrażania innowacyjnych rozwiązań w obszarze logistyki w publikacjach między innymi takich autorów, jak: Dembińska i in. [2018], Ocicka [2017, s. 38-39], Rutkowski [Rutkowski, 2016, s. 186], Relif i Walch [2008, s. 68], Glistau, Machado [2018, s. 307-314], Cordeiro i in. [2019, s. 166-179]. Tezy przedstawiono w tab. 3.

Tab. 3. Tezy delfickie

Numer tezy	Nazwa tezy
Teza 1	W magazynie zostaną wykorzystane okulary AR, które będą wspomagać szukanie towarów oraz ich kompletację
Teza 2	Technologia RFID (zastosowanie bramek, terminali mobilnych, tagów) usprawni procesy wydawania towarów z magazynu oraz pozwoli na kontrolę ich lokalizacji na terenie przedsiębiorstwa
Teza 3	Rzadko używane materiały produkcyjne będą drukowane na drukarce 3D
Teza 4	Na halach produkcyjnych wykorzystane zostaną autonomiczne roboty mobilne dowożące palety z materiałami do stanowisk produkcyjnych
Teza 5	W magazynach wykorzystywane będą autonomiczne roboty wspomagające rozładunek towarów z pojazdu
Teza 6	Wprowadzony zostanie inteligentny program, który na podstawie rodzaju, liczby i rozmiaru ścian rozmieści je na pojeździe ciężarowym
Teza 7	Zastosowane zostaną przenośne urządzenia mobilne umożliwiające pracownikom magazynu modyfikację dokumentów magazynowych
Teza 8	Zautomatyzowany magazyn będzie wysyłał informację do magazyniera o minimalnych stanach magazynowych towarów i konieczności ich zamówienia
Teza 9	W pojazdach należących do przedsiębiorstwa zostaną umieszczone sensory, które będą generowały do systemu TMS komunikaty o stanie technicznym pojazdów, a system będzie dedykował termin oraz sposób ich naprawy
Teza 10	Wykorzystana zostanie aplikacja VR do planowania układu magazynowego oraz rozmieszczenia towarów w magazynie

Źródło: opracowanie własne.

W drugim etapie opracowano kwestionariusz ankiety delfickiej. Dla każdej z tez sformułowano zestaw tych samych pięciu pytań. Opracowano także zestaw czynników sprzyjających realizacji tez oraz barier utrudniających ich wdrożenie.

W trzecim etapie postępowania badawczego dokonano wyboru ekspertów. Do udziału w badaniu zaproszono specjalistów reprezentujących następujące poddziały logistyki przedsiębiorstwa: magazyn produkcyjny, magazyn wysyłkowy, dział obsługi budów, dział zakupów, dział spedycji oraz flotę. Ekspertom przedstawiono ramy czasowe badania oraz zasady komunikacji.

W czwartym etapie przeprowadzono pierwszą turę badania delfickiego. Ekspertom rozesłano internetowy kwestionariusz ankiety delfickiej. Odbłyło się to przy pomocy poczty elektronicznej. Respondenci odpowiadali na pytania zawarte w kwestionariuszu ankiety. Każdy z nich określał swoje stanowisko na temat postawionych tez.

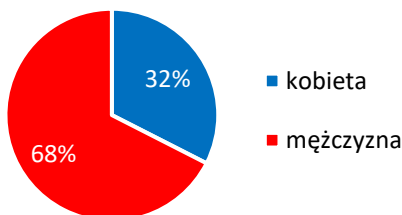
Piąty etap zaprezentowanej metodyki polegał na opracowaniu wyników pierwszej tury badania delfickiego.

W szóstym etapie na podstawie analizy wyników pierwszej tury sformułowano wnioski oraz rekomendacje dla przedsiębiorstwa w kontekście rozwoju logistyki.

Ze względu na ryzyko pozyskania niewielkiej liczby ekspertów oraz czas potrzebny na realizację badania odstąpiono od przeprowadzenia II tury.

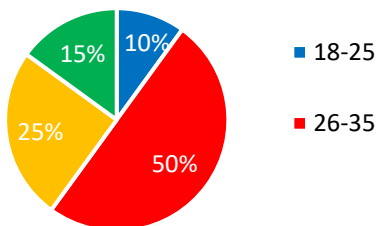
4. Charakterystyka struktury respondentów

Badanie zostało przeprowadzone w okresie: od 9 sierpnia 2019 roku do 20 sierpnia 2019 roku. Objęto nim 40 osób zatrudnionych w dziale logistyki przedsiębiorstwa X. Strukturę respondentów według płci przedstawiono na rys. 3, zaś strukturę respondentów według wieku przedstawiono na rys. 4.



Rys. 3. Struktura respondentów według płci

Źródło: opracowanie własne.

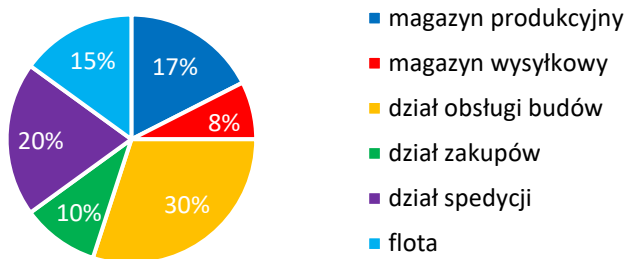


Rys. 4. Struktura respondentów według wieku

Źródło: opracowanie własne.

Większość badanych stanowili mężczyźni (68%). W strukturze wieku największą grupę (50%) stanowiły osoby w wieku 26-35 lat. Co czwarty ankietowany miał od 36 do 45 lat. Najmniejszą grupę (10%) stanowiły osoby w wieku 18-25 lat.

Strukturę respondentów według reprezentowanego działu przedsiębiorstwa produkcyjno-usługowego przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Struktura respondentów według reprezentowanego działu przedsiębiorstwa produkcyjno-usługowego

Źródło: opracowanie własne.

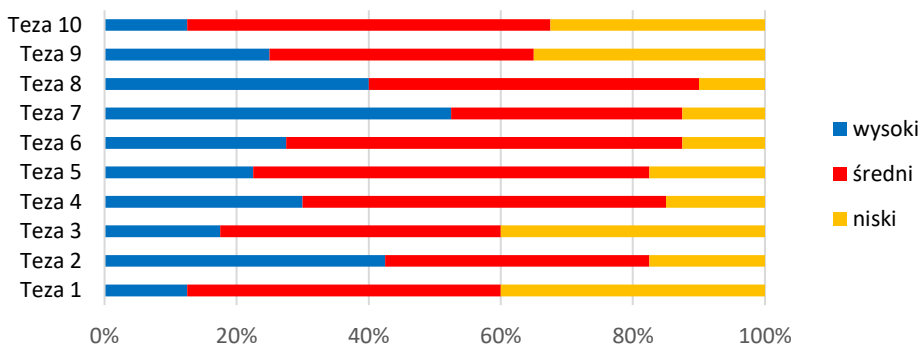
W strukturze badanych dominujący udział mieli reprezentanci działu obsługi budów. Stanowili oni 30 % ankietowanych. Drugą pod względem wielkości grupą byli pracownicy działu spedycji (20%). Magazyn produkcyjny reprezentowało 17% badanych, flotę 15%, dział zakupów 10%. Najmniejszy udział w badaniu mieli pracownicy magazynu wysyłkowego (8%).

Eksperti odpowiadali na pytania w odniesieniu do 10 tez delfickich. Określali swój poziom wiedzy na temat poruszonego zagadnienia w tezie. Badani wyznaczali również okres czasowy w jakim teza może być zrealizowana w przedsiębiorstwie usługowo-produkcyjnym. Następnie określali istotność tezy dla rozwoju logistyki w badanym przedsiębiorstwie oraz wyznaczali stopień wpływu przedstawionych czynników sprzyjających oraz barier utrudniających realizację tez.

5. Kluczowe wnioski i rekomendacje

Poniżej zaprezentowano zestawienia zbiorcze odpowiedzi ekspertów oraz wnioski dotyczące rozkładu tych odpowiedzi. Analizę dopełniono także wyliczając wskaźniki istotności tez oraz wskaźniki wpływu poszczególnych czynników sprzyjających oraz barier utrudniających realizację tez. Na koniec sformułowano rekomendacje dla analizowanego przedsiębiorstwa

Zbiorcze zestawienie dotyczące poziomu wiedzy ekspertów na temat poszczególnych tez przedstawiono na rys. 6.

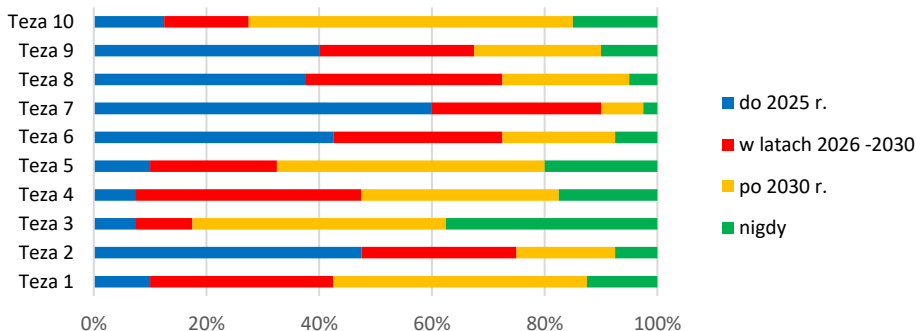


Rys. 6. Zbiorcze zestawienie poziomu wiedzy ekspertów na temat poszczególnych tez

Źródło: opracowanie własne.

Eksperti biorący udział w badaniu delfickim zadeklarowali najwyższy poziom wiedzy na temat zagadnienia poruszonego w tezie 7 odnoszącej się do możliwości zastosowania przenośnych urządzeń mobilnych umożliwiających pracownikom magazynu modyfikację dokumentów magazynowych. Ponad połowa ekspertów (52%) stwierdziła, że ma wysoki poziom wiedzy na ten temat. Przyczyną takiego rozkładu odpowiedzi odnośnie tezy 7 może być wszechobecny dostęp do informacji na temat możliwości urządzeń mobilnych stosowanych w przedsiębiorstwach. Z analizy wynika, że eksperci mają najniższy poziom wiedzy na temat poruszony w tezie 1 odnoszącej się do możliwości wykorzystania okularów AR w przedsiębiorstwie.

Zestawienie zbiorcze opinii ekspertów na temat najbardziej prawdopodobnego czasu realizacji poszczególnych tez w przedsiębiorstwie przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Zbiorcze zestawienie opinii ekspertów na temat najbardziej prawdopodobnego czasu realizacji poszczególnych tez w przedsiębiorstwie produkcyjno-usługowym

Źródło: opracowanie własne.

W opinii ekspertów tezami, które zostaną zrealizowane w najkrótszym czasie, czyli do 2025 roku są teza 7 oraz teza 2. Tezami, które z dużym prawdopodobieństwem mają szansę na realizację do 2025 roku są teza 6, teza 8 oraz teza 9. Krótki czas realizacji w przypadku aż pięciu tez dowodzi tego, że eksperci zauważają potrzebę wdrażania rozwiązań Przemysłu 4.0 w obszarze logistyki przedsiębiorstwa. Tezą, której realizację eksperci oszacowali na lata 2026-2030 jest teza 4. Natomiast po 2030 roku według ekspertów zostaną zrealizowane teza 1, teza 5 oraz teza 10. Największe prawdopodobieństwo braku realizacji opisanego w tezie zagadnienia zdaniem ekspertów występuje w przypadku tezy 3. Taki rozkład odpowiedzi w przypadku tezy 3 odnoszącej się do możliwości drukowania rzadko używanych materiałów produkcyjnych na drukarce 3D może świadczyć o tym, że zaproponowane w niej rozwiązanie zostało uznane przez ekspertów za bardzo odbiegające w przyszłość.

W celu określenia istotności poszczególnych tez dla rozwoju logistyki wyznaczono wskaźniki istotności (WI) według wzoru [Ejdys, 2013, s. 102; Nazarko, 2013, s. 97]:

$$W_I = \frac{n_{BI} * 100 + n_I * 75 + n_{RI} * 50 + n_{MI} * 25 + n_{NI} * 0}{n}$$

gdzie:

n_{BI} – liczba odpowiedzi „bardzo istotna”,

n_I – liczba odpowiedzi „istotna”,

n_{RI} – liczba odpowiedzi „raczej istotna”,

n_{MI} – liczba odpowiedzi „mało istotna”,

n_{NI} – liczba odpowiedzi „nieistotna”,

n – liczba wszystkich odpowiedzi.

Wskaźnik ten przyjmuje wartości od 0 do 100. Dana teza jest tym bardziej istotna dla rozwoju logistyki w analizowanym przedsiębiorstwie produkcyjno-usługowym im wskaźnik jest bliższy 100. W tab. 4 przedstawiono porównanie wskaźników dla poszczególnych tez.

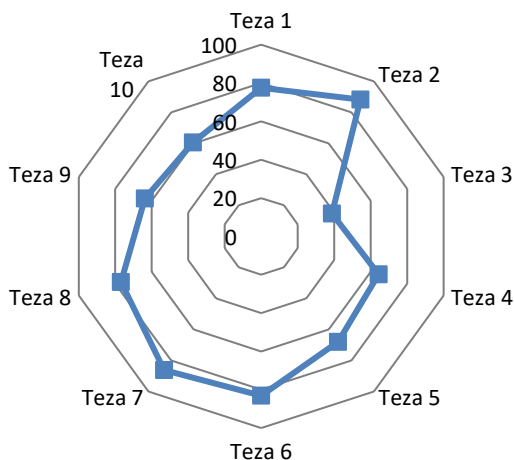
Tab. 4. Wskaźniki istotności tez dla rozwoju logistyki w przedsiębiorstwie produkcyjno-usługowym

Numer tezy	Nazwa tezy	Wskaźnik istotności tezy
Teza 1.	W magazynie zostaną wykorzystane okulary AR, które będą wspomagać szukanie towarów oraz ich kompletację	77,5
Teza 2.	Technologia RFID (zastosowanie bramek, terminali mobilnych, tagów) usprawni procesy wydawania towarów z magazynu oraz pozwoli na kontrolę ich lokalizacji na terenie przedsiębiorstwa	88,125

Teza 3.	Rzadko używane materiały produkcyjne będą drukowane na drukarce 3D	38,75
Teza 4.	Na halach produkcyjnych wykorzystane zostaną autonomiczne roboty mobilne dowożące palety z materiałami do stanowisk produkcyjnych	64,375
Teza 5.	W magazynach wykorzystywane będą autonomiczne roboty wspomagające rozładunek towarów z pojazdu	68,125
Teza 6.	Wprowadzony zostanie inteligentny program, który na podstawie rodzaju, liczby i rozmiaru ścian rozmieści towary w pojeździe ciężarowym	83,125
Teza 7.	Zastosowane zostaną przenośne urządzenia mobilne umożliwiające pracownikom magazynu modyfikację dokumentów magazynowych	86,25
Teza 8.	Zautomatyzowany magazyn będzie wysyłał informację do magazyniera o minimalnych stanach magazynowych towarów i konieczności ich zamówienia	76,875
Teza 9.	W pojazdach należących do przedsiębiorstwa zostaną umieszczone sensory, które będą generowały do systemu TMS komunikaty o stanie technicznym pojazdów, a system będzie dedykował termin oraz sposób ich naprawy	63,75
Teza 10.	Wykorzystana zostanie aplikacja VR do planowania układu magazynowego oraz rozmieszczenia towarów w magazynie	60,625

Źródło: opracowanie własne.

Porównanie wyliczonych wskaźników przedstawiono także na rys. 8.



Rys. 8. Wskaźniki istotności tez dla rozwoju logistyki w przedsiębiorstwie

Źródło: opracowanie własne.

Analizując uzyskane rezultaty należy zauważyć, że najistotniejszą tezą dla rozwoju logistyki w analizowanym przedsiębiorstwie produkcyjno-usługowym jest teza 2 odnosząca się do możliwości usprawnienia procesu wydawania towarów z magazynu oraz kontroli ich lokalizacji na terenie przedsiębiorstwa za pomocą technologii RFID. Wskaźnik istotności dla tej tezy osiągnął wartość 88,125. Świadczy to o dużej roli magazynu w obszarze logistyki analizowanego. Tezy, które również osiągnęły wysokie wskaźniki istotności to teza 7 oraz teza 6. Najmniej istotną tezą dla rozwoju logistyki w przedsiębiorstwie okazała się teza 3 odnosząca się do możliwości drukowania rzadko używanych materiałów produkcyjnych na drukarce 3D. Wskaźnik istotności dla tej tezy wyniósł 38,75. Wnioskując, eksperci uznali, że teza ta w najmniejszym stopniu usprawni procesy oraz działania w obszarze logistyki przedsiębiorstwa.

Wyliczono także wskaźniki wpływu poszczególnych czynników sprzyjających realizacji tez oraz wskaźniki wpływu poszczególnych barier utrudniających realizację tez. Wartości tych wskaźników wyliczono na podstawie wzoru [Ejdys, 2013, s. 111-112; Nazarko, 2013, s. 97]:

$$W_{SW} = \frac{n_{BD} * 100 + n_D * 75 + n_S * 50 + n_M * 25 + n_{BM} * 0}{n}$$

gdzie:

n_{BD} – liczba odpowiedzi „w bardzo dużym stopniu”

n_D – liczba odpowiedzi „w dużym stopniu”

n_S – liczba odpowiedzi „w średnim stopniu”

n_M – liczba odpowiedzi „w małym stopniu”

n_{BM} – liczba odpowiedzi „w bardzo małym stopniu”

Wskaźnik ten przyjmuje wartości od 0 do 100. Dany czynnik sprzyjający lub bariera tym silniej wpływa na realizację tezy im wskaźnik jest bliższy 100.

Zestawienie wskaźników wpływu poszczególnych czynników sprzyjających realizacji tez przedstawiono w tab. 5.

Tab. 5. Zestawienie wskaźników wpływu poszczególnych czynników sprzyjających realizacji tez

Czynniki sprzyjające realizacji tez					
Teza	System zarządzania wspierający rozwój nowoczesnych technologii w przedsiębiorstwie	Wysoki poziom wykształcenia technicznego kadr w przedsiębiorstwie	Wysoki poziom rozwinięcia technologicznego przedsiębiorstwa	Wysokie zasoby finansowe przedsiębiorstwa	Aktywnie prosperujący dział B+R w przedsiębiorstwie
Teza 1	76,875	68,125	83,125	75,25	69,375
Teza 2	73,125	72,5	76,875	71,875	63,75
Teza 3	63,75	61,875	64,375	61,25	66,875
Teza 4	75	68,75	78,125	76,875	64,375
Teza 5	72,5	63,125	69,375	71,875	65
Teza 6	74,375	75	71,25	65,625	66,875
Teza 7	73,75	71,25	73,75	66,25	61,25
Teza 8	73,15	55,7	72,525	64,4	62,575
Teza 9	74,375	76,25	68,125	80	66,875
Teza 10	71,875	69,375	76,875	73,75	76,875

Źródło: opracowanie własne.

Zdaniem respondentów, system zarządzania wspierający rozwój nowoczesnych technologii w przedsiębiorstwie w największym stopniu sprzyja realizacji tezy 5, tezy 7 oraz tezy 8. W opinii ekspertów wysoki poziom wykształcenia technicznego kadr w przedsiębiorstwie najbardziej może pomóc w realizacji tezy 6. Czynnikiem odnoszący się do wysokiego poziomu rozwinięcia technologicznego przedsiębiorstwa okazał się czynnikiem mającym największy pozytywny wpływ na realizację tezy 1, tezy 2, tezy 4, tezy 7 oraz tezy 10. Wartość wskaźnika dla tego czynnika osiągnęła wartość na poziomie 83,125. Według ekspertów, wysokie zasoby finansowe przedsiębiorstwa w największym stopniu wpływają tylko na realizację tezy 9. Aktywnie prosperujący dział B+R w przedsiębiorstwie jest czynnikiem w największym stopniu sprzyjającym realizacji tezy 3 oraz tezy 1.

Zestawienie wskaźników wpływu poszczególnych barier utrudniających realizację tez przedstawiono w tab. 6.

Tab. 6. Zestawienie wskaźników wpływu poszczególnych barier utrudniających realizację tez

Barьеры utrudniające realizację tez					
Ba- riera	Brak systemu zarządzania wspierającego rozwój nowoczesnych technologii w przedsiębiorstwie	Niski poziom wykształcenia technicznego kadr w przedsiębiorstwie	Niski poziom rozwinięcia technologicznego przedsiębiorstwa	Niskie zasoby finansowe przedsiębiorstwa	Brak aktywnie prosperującego działu B+R w przedsiębiorstwie
Teza 1	73,125	60,625	67,5	68,125	73,75
Teza 2	76,875	65,625	62,5	64,375	61,25
Teza 3	67,5	58,125	64,375	66,875	64,375
Teza 4	67,5	70	76,25	70	66,25
Teza 5	68,75	65,625	71,875	68,75	70,625
Teza 6	68,125	65	65,625	70	56,875
Teza 7	69,375	65,625	65	67,5	54,375
Teza 8	73,125	55,625	72,5	64,375	62,5
Teza 9	69,375	73,125	70	64,375	58,125
Teza 10	71,875	68,75	75	75,625	68,75

Źródło: opracowanie własne.

W opinii ekspertów brak systemu zarządzania wspierającego rozwój nowoczesnych technologii w przedsiębiorstwie jest barierą najsilniej utrudniającą realizację tezy 2, tezy 3, tezy 7 oraz tezy 8. Wartość wskaźnika dla tej bariery osiągnęła największą wartość na poziomie 76,875. Niski poziom wykształcenia technicznego kadr w przedsiębiorstwie zdaniem ekspertów jest barierą najbardziej utrudniającą realizację tezy 9. Bariera niski poziom rozwinięcia technologicznego przedsiębiorstwa w największym stopniu utrudnia realizację tezy 4 oraz tezy 5. Według ekspertów niskie zasoby finansowe przedsiębiorstwa mają największy negatywny wpływ na realizację tezy 6 oraz tezy 10. Brak aktywnie prosperującego działu B+R w przedsiębiorstwie zdaniem ekspertów najbardziej hamuje realizację tezy 1.

W odniesieniu do siły oddziaływania poszczególnych czynników sprzyjających realizacji tezy oraz barier utrudniających ich wdrożenie, sformułowano kilka rekomendacji dla analizowanego przedsiębiorstwa usługowo-produkcyjnego. Najczę-

ściej wskazywanym przez ekspertów czynnikiem, który najbardziej sprzyja wprowadzaniu przedstawionych innowacji jest wysoki poziom rozwinięcia technologicznego przedsiębiorstwa. W tym celu przedsiębiorstwo mogłoby rozważyć realizację takich zadań jak:

- stopniowe wprowadzanie nowych rozwiązań technologicznych,
- inwestowanie w modernizację infrastruktury w celu łatwiejszego wdrażania nowych technologii,
- pozyskiwanie nowych specjalistów dążących do wdrażania nowych technologii,
- współpraca z ośrodkami badawczo-naukowymi między innymi takimi jak uczelnie wyższe,
- współpraca z niezależnymi ekspertami w celu uzyskania wiedzy na temat sprawnego wdrażania nowych rozwiązań technologicznych,
- zakup licencji oraz patentów związanych z wdrażaniem innowacji technologicznych,
- własna praca badawczo-rozwojowa przedsiębiorstwa.

Barierą, która według ekspertów w największym stopniu utrudnia wprowadzanie opisanych rozwiązań jest brak systemu zarządzania wspierającego rozwój nowoczesnych technologii w przedsiębiorstwie. Aby temu zapobiec przedsiębiorstwo powinno skupić się na realizacji takich działań jak:

- szkolenia menadżerów każdego szczebla w kierunku kreatywnego myślenia o rozwoju przedsiębiorstwa,
- doskonalenie przepływu informacji i wiedzy na temat możliwości oraz efektów wprowadzania nowoczesnych technologii w przedsiębiorstwie,
- szkolenia kadry pracowniczej w kierunku zwiększania świadomości dotyczącej nowoczesnych technologii,
- zwiększenie aktywności kadry zarządczej przedsiębiorstwa w kierunku poszukiwania źródeł finansowania nowoczesnych technologii.

Warta do rozważenia jest również współpraca z innymi przedsiębiorstwami o podobnym profilu działalności w celu zwiększenia dostępu do informacji na temat możliwych do wprowadzenia innowacji technologicznych.

Podsumowanie

Wnioski płynące z badań studialnych na temat logistyki pozwoliły na zrozumienie roli jaką odgrywa we współczesnej gospodarce oraz zidentyfikowanie jej najważniejszych zadań. Analiza literatury przedmiotu umożliwiła także wyznaczenie najistotniejszych megatrendów kształtujących jej rozwój. Zwrócono również uwagę

na najnowsze trendy technologiczne występujące w obszarze logistyki. W artykule wykazano, że metoda delficka jest właściwym narzędziem do informowania zainteresowanych środowisk o kierunkach zmian i rozwoju w badanym obszarze. Uznano również, że przeprowadzanie badań metodą delficką pomaga zidentyfikować najważniejsze czynniki wpływające na przyszłe zjawiska.

Podsumowując, zaproponowane innowacyjne rozwiązania Przemysłu 4.0, zdaniem ekspertów, są możliwe do zrealizowania w różnych horyzontach czasowych. Połowa z nich może zostać zrealizowana do 2025 roku. Świadczy to o potrzebie przedsiębiorstwa do wprowadzania innowacji w celu usprawniania działań oraz procesów zachodzących w dziale logistyki. Uzyskane wyniki dowodzą także, że najistotniejsze dla rozwoju logistyki w przedsiębiorstwie jest rozwiązanie związane z możliwością zastosowania technologii RFID, które usprawniłoby procesy wydawania towarów z magazynu oraz pozwoliłoby na kontrolę ich lokalizacji na terenie przedsiębiorstwa. Duża istotność tego rozwiązania może wiązać się z potrzebą sprawnego przepływu danych oraz skutecznej wymiany informacji na terenie przedsiębiorstwa. Świadczy to także o dużym znaczeniu procesów magazynowych w obszarze logistyki przedsiębiorstwa. Innymi istotnymi rozwiązaniami dla rozwoju logistyki w przedsiębiorstwie okazały się zastosowanie przenośnych urządzeń mobilnych umożliwiających pracownikom magazynu modyfikację dokumentów magazynowych oraz wprowadzenie inteligentnego programu, który na podstawie rodzaju, liczby i rozmiaru ścian usprawniłby proces rozmieszczania towarów w pojeździe ciężarowym.

Z przedstawionych wyników badań wynika, że analizowane przedsiębiorstwo powinno dążyć do rozwoju technologicznego oraz skupić się na doskonaleniu systemu zarządzania w kierunku wspierania rozwoju nowoczesnych technologii. Podjęcie działań w tych obszarach w dużym stopniu zwiększyłoby szansę na wdrożenie zaproponowanych rozwiązań Przemysłu 4.0. Z przeprowadzanych analiz należy wnioskować, że przedsiębiorstwo ma duży potencjał w kontekście wprowadzania innowacyjnych rozwiązań Przemysłu 4.0.

ORCID iD

Anna Kononiuk: <https://orcid.org/0000-0002-0248-9669>

Literatura

1. Blaik P. (2017), *Logistyka: Koncepcja zintegrowanego zarządzania*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
2. Bujak A. (2011), *Innowacyjność i innowacyjne rozwiązania w logistyce*, *Logistyka*, 2, s. 85-96.
3. Bujak A. (2015), Topolska K., Gębczyńska A., *Kierunki rozwoju współczesnej logistyki*, *TTS Technika Transportu Szybnego* 12, s. 223-229.
4. Bujak A. (2016a), *Obszary (megatrendy) przekształceń współczesnej logistyki*, *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe* 6, s. 1257-1261.
5. Bujak A. (2016b), *Uwarunkowania i czynniki rozwoju polskiej logistyki*, *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe* 6, s. 1262-1267.
6. Bujak A. (2017), *Rewolucja przemysłowa –4.0” i jej wpływ na logistykę XXI wieku*, *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe”* 6, s. 1338-1344.
7. Bukala B., Tereszkiewicz K. (2014), *Wykorzystanie rzeczywistości rozszerzonej w procesie dydaktycznym z zakresu logistyki magazynowej*, *Logistyka*, 3, s. 907-914.
8. Bukala B., Tereszkiewicz K. (2015), *Rzeczywistość rozszerzona –innowacyjna technologia XXI wieku*, *Logistyka* 4, s. 2702-2713.
9. Cordeiro G., Cooper R., Ferro R. (2019), *Theoretical proposal of steps for the implementation of the Industry 4.0 concept*, *Brazilian Journal of Operations & Production Management* 16, s. 166-179.
10. Dembińska I., Frankowska M., Malinowska M., Tundys B. (2018), *Smart Logistics. Inteligentne rozwiązania logistyczne w łańcuchach dostaw, przemyśle, obszarach miejskich oraz zarządzaniu transportem i gospodarką magazynową*, edu-Libri, Kraków.
11. Ejdyś J., (2013), *Regionalny foresight gospodarczy. Scenariusze rozwoju lokalnego województwa mazowieckiego*, Związek Pracodawców Warszawy i Mazowsza, Warszawa.
12. Gajewski J., Paprocki W., Pieriegud J. (red.) (2015), *Megatrendy i ich wpływ na rozwój sektorów infrastrukturalnych*, Instytut Badań nad Gospodarką Rynkową - Gdańska Akademia Bankowa, Gdańsk.
13. Galińska B., Kopania J., Walaszczyk A. (red.) (2017), *Współczesne rozwiązania dla realizacji procesów logistycznych*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź.
14. Glistau E., Machado N.(2018), *Industry 4.0 Logistics 4.0 and Materials – Chances and Solutions*, *Materials Science Forum* 919, pp. 307-314.
15. Gołemska E. (red.) (2013), *Kompendium wiedzy o logistyce*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

16. Handsfield R. (2013), *Trends und Strategien in Logistik and Supply Chain Management*, Bremen.
17. Iwański T., Gracel J. (2016), *Przemysł 4.0. Rewolucja już tu jest. Co o niej wiesz?*, Raport Astor.
18. Kiraga K. (2016), *Przemysł 4.0: 4. rewolucja przemysłowa według Festo*, *Autobusy: techniki, eksploatacja, systemy transportowe* 12, s. 1603-1605.
19. Kłosiński K. (2007), *Megatrendy cywilizacyjne a konkurencyjność*, *Roczniki Nauk Społecznych* 25(3), s. 5-23.
20. Kononiuk A., Siderska J., Gudanowska A., Dębkowska K. (2021), *The problem of labour resources as a development barrier to the Polish economy – WSEAS Transactions on Business and Economics* 18, s.139-151.
21. Kowalewska A., Głuszyński J. (red.) (2009), *Zastosowanie metody Delphi w Narodowym Programie Foresight Polska 2020*, Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Warszawa.
22. *Logistics Trend Radar. Delivering insight today, creating value tomorrow* (2018), DHL Customer Solutions & Innovation.
23. Łada M. (2017), *Wpływ big data na zarządzanie łańcuchami dostaw*, *Studia Ekonomiczne* 341, s. 200-209.
24. Łapko A., Wagner N. (2019), *Logistyka dystrybucji. Trendy–Wyzwania –Przykłady*, CeDeWu Sp. z o.o., Warszawa.
25. Malinowska M., Rzeczycki A. (2016), *Rozwiązania cloud computing w logistyce – stan obecny i tendencje rozwojowe*, *Problemy Transportu i Logistyki* 4, s.165-174.
26. Matejun M. (2012), *Metoda delficka w naukach o zarządzaniu*, [w:] E. Kuczmera-Ludwiczynska (red.), *Zarządzanie w regionie. Teoria i Praktyka*, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa.
27. Misztal A. (2017), *Procesy logistyczne a zrównoważony rozwój przedsiębiorstwa*, *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej. Organizacja i Zarządzanie* 75, s. 201-212.
28. Mychlewicz C., Piątek Z. (2017), *Od Industry 4.0 do Smart Factory. Poradnik menedżera i inżyniera*, Raport Siemens, Warszawa.
29. Nazarko J. (2013), *Regionalny foresight gospodarczy. Scenariusze rozwoju innowacyjności mazowieckich przedsiębiorstw*, ZPWiM, Warszawa.
30. Nazarko J., Radziszewski R., Dębkowska K., Ejdys J., Gudanowska A., Halicka K., Kilon J., Kononiuk A., Kowalski K. J., Król J. B., Nazarko Ł., Sarnowski M., Vilutienė T. (2015), *Foresight Study of Road Pavement Technologies*, *Procedia Engineering* 122, pp. 129-136.
31. Ocicka B. (red.) (2017), *Technologie mobilne w logistyce i zarządzaniu łańcuchem dostaw*, Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa.

32. Ocicka B., Rutkowski K., *Rozwój druku 3D i jego wpływ na zarządzanie łańcuchem dostaw*, *Gospodarka Materiałowa i Logistyka* 12, s. 2-10.
33. Płaczek E. (2011), *Koncepcja zrównoważonego rozwoju u operatorów logistycznych*, *Logistyka*, 4, s. 746-753.
34. Płaczek E. (2012), *Zrównoważony rozwój – nowym wyzwaniem dla współczesnych operatorów logistycznych*, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport* 84, s. 79-92.
35. Radziszewski P. (red.) (2016), *Perspektywy i kierunki rozwoju budownictwa drogowego w Polsce na podstawie badań foresightowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
36. Reif R., Walch D. (2008), *Augmented & Virtual Reality Applications in the Field of Logistics*, *The Visual Computer* 24, pp. 987-994.
37. Rusek D., Pniewski R. (2016), *Nowoczesne technologie IT stosowane w logistyce*, *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe* 12, s. 1654-1657.
38. Rutkowski K. (red.) (2016), *Zarządzanie łańcuchem dostaw w XXI wieku: w poszukiwaniu nowych źródeł przewagi konkurencyjnej*, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa.
39. Sudół S. (2016), *Delficka metoda badawcza, Zarządzanie. Teoria i Praktyka* 3, Wyższa Szkoła Menadżerska w Warszawie, Warszawa, s. 69-74.
40. Tylżanowski R. (2013), *Innowacyjne rozwiązania logistyczne w przedsiębiorstwach*, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania* 34, s. 285-297.
41. Wincewicz-Bosy M., Nowak I. (2018), *Logistic networks and globalization challenges*, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej* 128, s. 435-449.
42. Wittbrodt P., Łapuńska I., *Przemysł 4.0 – wyzwanie dla współczesnych przedsiębiorstw produkcyjnych*, http://www.ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk_pdf_2017/T2/t2_793.pdf
43. Ziółkowski B., Jankowska-Mihułowicz M., Chudy-Laskowska K., Piecuch T. (2016), *Determinanty strategii sukcesu dostawców systemów RFID z API – wyniki badań metodą delficką*, *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu* 444, s. 639-64.
44. Żurak-Owczarek C. (2014), *Paradygmat cloud computing w logistyce*, *Logistyka* 6, s. 1279-1285.

The application of the Delphi method to evaluate the possibility of implementing innovative solutions of Industry 4.0 in the area of logistics on the example of a production and service company

Abstract

The aim of the article is to present the possibility of implementing innovative solutions of Industry 4.0 in a production and service enterprise. The article presents a synthesis of studies on megatrends in the area of logistics, Industry 4.0 and the Delphi method. The application of the Delphi method allowed to determine the development prospects of the enterprise in the area of logistics. The presented research can be applied in practice in production and service enterprises that intend to introduce improvements in the field of logistics. The research results provided information on the most important innovations for the development of logistics, the probable time of their implementation in the logistics area of the enterprise and the identification of the most important favourable factors and barriers to the implementation of the proposed innovations.

Key words

megatrends, Industry 4.0, logistics, Delphi method