

**A. NAUKA TRANSPORTOWA**

**A.19. LOGISTYKA 5.0: OGÓLNA KONCEPCJA ORAZ PRAKTYCZNE UWARUNKOWANIA WDRÓŻENIA W PRAKTYCE**

Lech A. Bukowski, Akademia WSB

Jerzy Feliks, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Marek Karkula, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

**A.19** Logistyka 5.0: ogólna koncepcja oraz praktyczne uwarunkowania wdrożenia w praktyce

*Moderator - Prof. Lech A. Bukowski*

**1. Wprowadzenie**

Jednym z głównych celów gospodarki jest sprostanie zmiennym w czasie wymaganiom klientów. Aktualnie konsumenci coraz częściej wymagają zindywidualizowanych produktów o krótkim czasie dostawy. Wraz z rosnącą globalizacją zaspokajanie tych potrzeb konsumentów stało się coraz większym wyzwaniem, więc aby jemu sprostać w aktualnym środowisku biznesowym firmy potrzebują nowych form produkcji oraz logistyki. Wdrożenie nowatorskich technologii umożliwi przedsiębiorstwom reagowanie i dostosowywanie się do nieprzewidywanych zdarzeń zakłócających przez umożliwienie szybkiego powrotu do stanu sprzed zakłócenia, a nawet osiągnięcie nowej, jeszcze lepszej jakości i wydajności.

W tym celu Przemysł 4.0 i 5.0 umożliwiają zmianę strategii przedsiębiorstw i łańcuchów dostaw dzięki wprowadzaniu nowych sposobów zarządzania procesami produkcyjnymi i logistycznymi, tworząc możliwości osiągnięcia elastycznych procesów i wytwarzania spersonalizowanych produktów wymaganych przez konsumentów. Reaktywność, zwinność i odporność łańcuchów dostaw można osiągnąć, zgodnie z zasadami Przemysłu 4.0 i 5.0, przez podejście procesowe do przepływów w sieciach dostaw oraz przetwarzanie i wykorzystanie ogromnych ilości danych pochodzących z monitorowania tych procesów. Takie informacje są szczególnie przydatne w przypadkach podejmowania decyzji w obliczu zakłóceń i występowania nieprzewidywanych zdarzeń.

Koncepcja Przemysłu 4.0 została opracowana w celu poprawy produktywności przemysłu wytwórczego. Natomiast Przemysł 5.0 obejmuje zasady Przemysłu 4.0, ale ewoluuje w kierunku wykorzystania kreatywności ludzkich ekspertów we współpracy z wydajnymi, inteligentnymi i dokładnymi artefaktami, w celu uzyskania rozwiązań skoncentrowanych na czynniku ludzkim

oraz obejmując długoterminową odporność na zakłócenia i zapewniając zrównoważone zasady rozwoju.

Termin Przemysł 5.0 odnosi się zatem przede wszystkim do wykorzystania najnowszych technologii cyfrowych w produkcji i usługach. Technologie te obejmują rozwój w dziedzinie uczenia maszynowego oraz nauki o przetwarzaniu danych, które umożliwiają kreowanie coraz bardziej autonomicznych i inteligentnych systemów, jak również tanich czujników obsługujących Internet Rzeczy (IoT). Do najważniejszych z nich zaliczamy: roboty, sztuczną inteligencję, cyberbezpieczeństwo, przetwarzanie w chmurze, rzeczywistość rozszerzoną, blockchain oraz tzw. big data.

Na tych fundamentach powstała koncepcja Przemysłu 5.0, której głównym celem jest zapewnienie rozwiązań dla problemów produkcyjnych i logistycznych w łańcuchach dostaw w oparciu o odporną, zrównoważoną i zorientowaną na ludzi wizję. Głównym celem jest wyeliminowanie lub ograniczenie do minimum skutków negatywnych zdarzeń zewnętrznych oraz zapewnienie wzrostu gospodarczego poprzez transformację ekologiczną, cyfryzację, zrównoważony wzrost oraz odporność firm i instytucji, zwłaszcza w obecnym środowisku biznesowym, które charakteryzuje się wieloma negatywnymi konsekwencjami, m.in. ze względu na skutki pandemii COVID-19.

Zaspokojenie popytu klientów, który aktualnie charakteryzuje się wysoce spersonalizowanymi wymaganiami oraz krótkimi terminami dostaw, wymaga optymalizacji systemów logistycznych, czyniąc je bardziej niezawodnymi, elastycznymi i zwinnymi oraz bardziej odpornymi na nieprzewidziane klęski żywiołowe i katastrofy. Logistyka zatem wymaga nowych rozwiązań zgodnych z trendem Przemysłu 5.0 w celu zwiększenia interakcji międzyludzkich, poprawy odporności łańcuchów dostaw na zakłócenia oraz przestrzegania zasad zrównoważonego rozwoju. W związku z tym Logistyka 5.0 musi ewoluować w kierunku stosowania nowych technologii związanych z możliwością pozyskiwania i przetwarzania ogromnej liczby danych oraz wykonywania działań w oparciu o informacje wynikające z takiego przetwarzania.

W dalszej części niniejszego opracowania autorzy starali się odpowiedzieć na kluczowe pytanie badawcze, które można sformułować w następujący sposób: jaki jest aktualny stan badań nad technologiami wspierającymi Logistykę 5.0 w celu zapewnienia ciągłości dostaw towarów i usług zorientowanych na człowieka, odpornych na zakłócenia, a zarazem korzystnych dla zrównoważonego rozwoju?

## 2. Ewolucja logistyki: od Logistyki 1.0 do Logistyki 4.0

Nowoczesna koncepcja "logistyki" została ukształtowana w dziedzinie wojskowości w pierwszej połowie XIX wieku i obejmowała transport, zakwaterowanie i zaopatrzenie jednostek wojskowych, a także transport, przechowywanie i nadzór nad towarami przeznaczonymi dla wojska (Blaik, 2010; Michłowicz, 2002). W latach 50. koncepcja logistyki zaczęła być przenoszona ze sfery obrony narodowej do biznesu. Pojawił się termin "logistyka biznesowa", który obejmował procesy transportu, magazynowania i przeładunku towarów w ramach jednego przedsiębiorstwa oraz pomiędzy różnymi przedsiębiorstwami (Schönsleben, 1998; Stock & Lambert, 2001).

Punktem zwrotnym w rozwoju nowoczesnej logistyki była publikacja artykułu "Note on the Formulation of the Theory of Logistics" autorstwa Morgensterna w 1955 roku (Morgenstern, 1955). W obszarze niemieckojęzycznym za datę narodzin logistyki cywilnej uznaje się rok 1973, czyli rok wydania książki "Business logistics - systems, decisions, methods" (Kirsch, Bamberger, Gabele & Klein 1973). Autorzy tej książki rozumieli logistykę jako "... kształtowanie, sterowanie, regulowanie i realizację przepływów energii, informacji i ludzi, a w szczególności materiałów i produktów, w ramach danego systemu i między systemami ". W kolejnych latach w Europie znacznie wzrosło zainteresowanie praktycznymi aspektami logistyki, co zaowocowało stworzeniem praktycznej definicji logistyki w postaci tzw. zasady 7R (od angielskiego słowa "right" lub od niemieckiego "richtig"). Interpretacja tej zasady oznacza, że podstawowym zadaniem logistyki jest dostarczenie właściwych towarów, we właściwej ilości, we właściwym czasie, we właściwe miejsce, o właściwej jakości, po właściwych kosztach wraz z właściwą informacją (Lasch 2014).

Pod koniec lat 80. przedstawiciel niemieckiej szkoły logistycznej Reinhard Jünemann uogólnił tę definicję, proponując rozumienie logistyki jako "... naukowej dziedziny wiedzy obejmującej planowanie, kontrolę i sprawdzanie przepływów materiałów, energii i informacji w systemach". (Jünemann, 1989). Takie rozumienie koncepcji logistyki otworzyło nowe perspektywy dla naukowców zajmujących się zagadnieniami logistycznymi, stwarzając możliwości poszukiwania modeli teoretycznych w szeroko rozumianym obszarze wiedzy logistycznej. Poszczególne fazy i kierunki rozwoju logistyki cywilnej od momentu jej powstania do stanu obecnego zostały szczegółowo opisane i przeanalizowane przez wielu autorów (np. Pfohl, 1998; Witkowski, 2010; Lasch, 2014; Bukowski, 2016; Bukowski, 2019). Na tej podstawie rozwój logistyki w biznesie można podzielić na cztery etapy, których krótką charakterystykę przedstawiono w tabeli 1.

Logistyka 1.0 obejmowała lata sześćdziesiąte i siedemdziesiąte XX wieku i charakteryzowała

się orientacją marketingową. Główne zadanie logistyki definiowano jako: "dostarczanie surowców, półproduktów i wyrobów gotowych zgodnie z zasadą 7R". Dominujące podejście na tym etapie rozwoju logistyki było ukierunkowane funkcjonalnie, co oznacza, że optymalizacja operacji logistycznych była postrzegana jako część odrębnych funkcji, a nie jako część całego procesu dostawy. Taka orientacja często skutkowałą problemami na styku poszczególnych obszarów funkcjonalnych (np. wąskie gardła w przepływach i słabe ogniwa w systemach) i utrudniała kompleksową optymalizację całych procesów logistycznych (Coyle i in., 2010; Krawczyk, 2011).

Tabela 1. Etapy rozwoju logistyki w praktyce biznesowej

<b>Etap</b>	<b>Charakterystyczne cechy</b>	<b>Dominujące podejście</b>	<b>Główny cel</b>
Logistyka 1.0	dostawa towarów w trzech etapach: "transport- przeładunek - magazynowanie	funkcjonalne, reaktywne	skuteczność
Logistyka 2.0	Zarządzanie procesami przepływu towarów w ramach jednego przedsiębiorstwa	systemowe, aktywne	minimalizacja kosztów
Logistyka 3.0	Kompleksowe zarządzanie przepływem towarów w łańcuchach dostaw	integracja ponad granicami organizacji	efektywność
Logistyka 4.0	Optymalizacja i wirtualizacja sieci logistycznych w ramach trzeciej platformy IT (SMAC)	dynamiczne, globalna perspektywa, działanie w czasie rzeczywistym (RTE)	skuteczność oraz efektywność

W latach osiemdziesiątych XX wieku pojawiła się nowa koncepcja - Logistyka 2.0. Podkreślała ona koordynacyjną rolę logistyki w zarządzaniu przepływami wszystkich dóbr pomiędzy miejscem ich pochodzenia (np. przez producenta) a miejscem przeznaczenia (np. przez odbiorcę). Wiązało się to ze wzrostem złożoności systemów logistycznych i dynamicznym rozwojem nowej roli logistyki, jaką była organizacja zwrotów zużytych materiałów, towarów i opakowań (logistyka zwrotna). Podejście funkcjonalne stopniowo ustępowało miejsca podejściu regulacyjnemu, w którym decyzje zarządcze były najczęściej reakcjami na zmiany zachodzące w czasie. Funkcja celu logistycznego została podporządkowana idei "lean

thinking", która dotyczyła obszarów produkcyjnych (lean manufacturing, organizacyjnych i zarządczych (lean structures i lean management). Kolejna faza Logistyki 2.0, na przełomie lat 80. i 90. XX wieku, była w dużej mierze odpowiedzią na istotne zmiany rynkowe, a mianowicie ograniczenie masowej produkcji, pozwalające na pełne wykorzystanie ekonomii skali do elastycznego dostosowania się do potrzeb nieprzewidywalnego klienta (systemy i procesy logistyczne, niezależnie od struktury własności poszczególnych elementów łańcucha dostaw, oraz ekonomia zakresu zamiast ekonomii skali). Taka zmiana w funkcjonowaniu branży wymagała zastosowania nowego dynamicznego podejścia, uwzględniającego zmienność otoczenia w czasie. Dominującym problemem w tej fazie był konflikt pomiędzy dążeniem do pełnej elastyczności przy jednoczesnym dostosowywaniu się do zmieniających się wymagań rynku (responsywność) a rosnącymi kosztami (Harrison & van Hoek, 2009).

Kolejny krok - Logistyka 3.0 - można scharakteryzować poprzez koncepcję łańcucha dostaw jako sekwencji procesów związanych z przepływem dóbr ponad granicami poszczególnych organizacji, począwszy od pozyskania surowców, a skończywszy na finalnym użytkowniku dóbr (koncepcja E2E). Taka zmiana perspektywy związanej z zagadnieniami logistycznymi umożliwiła kompleksowe podejście do optymalizacji w przejściu od elastyczności w zarządzaniu dostawami do jej wyższego poziomu, czyli - zwinności. Integracja systemów i procesów logistycznych stała się fundamentem dla kolejnych etapów rozwoju nowoczesnej logistyki (Blanchard, 2015).

Czwarty etap - Logistyka 4.0 - rozpoczął się wraz z początkiem XXI wieku i był napędzany przez stale rozwijającą się globalizację gospodarczą. Metody optymalizacji oparte na koncepcji łańcucha tworzenia wartości Portera w celu poprawy efektywności systemów logistycznych oraz dynamiczne podejście w modelowaniu i symulacji procesów logistycznych zostały wykorzystane na większą skalę (Blaik & Matwiejczuk, 2008). Jednocześnie wirtualizacja sieci logistycznych nastąpiła w ramach tzw. trzeciej platformy IT, którą często określa się akronimem SMAC (Social, Mobile, Analytics, Cloud). Trend ten, potocznie nazywany e-logistyką lub inteligentną logistyką (Adamczewski, 2016), w pełni wpisuje się w rozwijany obecnie model tzw. ekonomii chwili (zwanej też "now economy"), a realizowany głównie w organizacjach czasu rzeczywistego (RTE - Real-Time Enterprise). Cele współczesnych systemów logistycznych są wielorakie, a mianowicie skuteczność, efektywność ekonomiczna, szczupłość i jednocześnie zwinność (tzw. "leagility") oraz odporność na zakłócenia (Gudehus & Kotzab, 2009).

W praktyce Logistyka 4.0 powstała jako integralna część koncepcji Przemysłu 4.0 (Kagermann et al., 2013; Strandhagen, J.O., et al., 2017; Wieland, Handfield & Durach, 2016).

Dynamiczny rozwój produkcji zgodnie z koncepcją Przemysłu 4.0 jest wynikiem takich procesów jak: globalizacja, rozwój IT (np. Internet Rzeczy) oraz współpraca międzynarodowa. Realizacja tych zadań wymaga wsparcia produkcji nowoczesną logistyką, czyli Logistyką 4.0. Poniżej przedstawiamy pięć najważniejszych cech, które charakteryzują nowoczesną wersję Logistyki 4.0:

a) Pełna integracja z Przemysłem 4.0

Jednym z najważniejszych aspektów Logistyki 4.0 jest jej zdolność do płynnej integracji z systemami Przemysłu 4.0, tworząc symbiotyczną, synergiczną relację między producentami a usługami dostawczymi. Aby osiągnąć optymalną relację między logistyką a inteligentną produkcją, konieczne jest udostępnianie danych i zasobów IT między operacjami logistycznymi a firmami produkcyjnymi. Pozwoli to całemu łańcuchowi dostaw zapewnić lepszą wydajność i efektywność, dzięki czemu globalne łańcuchy dostaw będą szczuplejsze, inteligentniejsze i bardziej zwinne jako cały, spójny, wzajemnie połączony system ((Ślusarczyk, Haseeb & Hussain 2019).

b) Wdrożenie Internetu rzeczy

Wdrożenie Internetu Rzeczy (IoT) zarówno umożliwia, jak i ulepsza takie technologie, jak inteligentne systemy, łącząc je (zwykle za pośrednictwem chmury) z istniejącymi systemami informatycznymi firmy. Na przykład, niektóre firmy wdrożyły czujniki ciepła i światła w swoich magazynach, aby zapobiec możliwości uszkodzenia lub zniszczenia określonego produktu z powodu złych warunków fizycznych. Jeśli czujniki ustalą, że takie uszkodzenie prawdopodobnie miało miejsce, mogą wysyłać alerty z powrotem do menedżerów zapasów i planistów produkcji, aby zapewnić, że istniejące plany produkcji i transportu są dostosowane do zmieniającej się sytuacji (Tadejko, 2015).

c) Korzystanie z inteligentnych systemów i rozwiązań

Inteligentne wersje tradycyjnych systemów i komponentów logistycznych zmieniają sposób, w jaki towary przemieszczają się od dostawców do klientów. Inteligentne kontenery i inteligentne palety, na przykład, przekształcają tradycyjne przepływy pracy w nowe możliwości gromadzenia i działania na podstawie kluczowych informacji o przemieszczanych zapasach. Inteligentna paleta może ostrzegać użytkowników, jeśli jest wypełniona ponad jej maksymalny udźwig, aby zapobiec zużyciu lub zwiększyć efektywność czasu załadunku. Pozwoli to w przyszłości na zwiększenie autonomicznego podejmowania decyzji w łańcuchu dostaw, porównywalnego z poziomem autonomicznego podejmowania decyzji obserwowanym obecnie w zaawansowanych środowiskach Przemysłu 4.0. Zazwyczaj wiąże się to ze wzrostem liczby samochodów i ciężarówek bez kierowcy. Trend ten prawdopodobnie

rozpocznie się na mniejszą skalę, np. z robotami, które mogą samodzielnie podejmować decyzje dotyczące uzupełniania zapasów, oszczędzając w ten sposób czas i pieniądze (Wieland, Handfield & Durach, 2016).

d) Widoczność w całym łańcuchu dostaw

Jednym z najważniejszych aspektów nowoczesnej logistyki jest wzrost widoczności wynikający ze zwiększonej cyfryzacji w całym łańcuchu dostaw (E2E). Zazwyczaj zwiększona widoczność jest pierwszym krokiem do zbudowania inteligentniejszego strumienia wartości, a także niezbędnym warunkiem wstępnym do zapewnienia przejrzystości i współpracy wewnątrzoperacyjnej. Pomaga to uczynić nowoczesną logistykę znacznie bardziej wydajną i kompleksową niż jej wcześniejsze przejawy, zwłaszcza poprzez stworzenie dodatkowej stabilności planowania. Inteligentne porty, takie jak Abu Dhabi, już wdrażają rozwiązania, które umożliwiają przeglądanie w czasie rzeczywistym dokumentów i innych krytycznych informacji dla spedytorów i ich klientów (Wieland, Handfield & Durach, 2016).

e) Analityka Big Data

W ostatnich latach wiele zrobiono w obszarze gromadzenia ogromnych ilości danych (tzw. Big Data) w nowych strukturach logistycznych, ale prawdziwa wartość tych danych nie ogranicza się do zwiększenia spójności ręcznego planowania. Postępy w zakresie przejrzystości, widoczności i gromadzenia danych za pomocą czujników i chipów RFID są wynikiem wykorzystania procesów analitycznych. Wprowadzając duże ilości danych i informacji do algorytmów predykcyjnych i preskryptywnych, dostawcy usług logistycznych mogą poprawić swoje prognozy popytu i podaży, jednocześnie odkrywając potencjalne obszary marnotrawstwa lub możliwe działania usprawniające w swoich strumieniach wartości. Może to pomóc w inteligentniejszej wersji zarządzania łańcuchem dostaw, która jest mniej podatna na ryzyko, zakłócenia i nieprzejrzystość, ale także toruje drogę do rozwoju logistyki antycypacyjnej, która przewiduje i działa na potrzeby klientów, zanim się pojawią (Bukowski, 2019).

### **3. Logistyka 5.0 jako odpowiedź na potrzeby Przemysłu 5.0**

W 2021 r. Komisja Europejska oficjalnie wezwała do piątej rewolucji przemysłowej w raporcie

---

<sup>1</sup>[https://research-and-innovation.ec.europa.eu/knowledge-publications-tools-and-data/publications/all-publications/industry-50-towards-sustainable-human-centric-and-resilient-european-industry\\_en?gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQiA5rGuBhCnARIsAN1](https://research-and-innovation.ec.europa.eu/knowledge-publications-tools-and-data/publications/all-publications/industry-50-towards-sustainable-human-centric-and-resilient-european-industry_en?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA5rGuBhCnARIsAN1)

Dyrekcji Generalnej ds. Badań Naukowych i Innowacji zatytułowanym: „Przemysł 5.0: w kierunku zrównoważonego, zorientowanego na człowieka i odpornego przemysłu europejskiego”<sup>1</sup>. Przemysł 5.0 ma swoje korzenie w koncepcji "Przemysłu 4.0", jako przyszły projekt i część strategii zaawansowanej technologii, która ma być powszechnie przyjęta przez biznes, naukę i decydentów.

Skupiono się nie tylko na lepszym spełnieniu ekonomicznych, ale także specjalnych ekologicznych wymagań "zielonej produkcji" dla neutralnego pod względem emisji dwutlenku węgla, energooszczędnego przemysłu.

Przemysł 5.0 został zdefiniowany przez poszerzoną celowość, wykraczającą poza produkcję towarów i usług przede wszystkim dla uzyskania zysku. Ten szerszy cel obejmuje trzy podstawowe elementy: ukierunkowanie na człowieka, zrównoważony rozwój i odporność na nieprzewidziane zakłócenia. W zglobalizowanym świecie skupienie się wyłącznie na zysku nie uwzględnia prawidłowo kosztów i korzyści zarówno środowiskowych jak i społecznych. Aby przemysł stał się dostawcą prawdziwego dobrobytu, definicja jego prawdziwego celu musi obejmować kwestie społeczne, środowiskowe i socjalne. Obejmuje to odpowiedzialne innowacje, nie tylko mające na celu zwiększenie efektywności kosztowej, ale także zwiększenie dobrostanu dla wszystkich zaangażowanych: inwestorów, pracowników, konsumentów, społeczeństwa i środowiska.

Podjęcie skoncentrowane na człowieku w przemyśle stawia podstawowe ludzkie potrzeby i interesy w centrum procesu produkcyjnego. Zamiast pytać, co możemy zrobić z nową technologią, pytamy, co technologia może zrobić dla nas. Zamiast prosić pracownika przemysłu o dostosowanie swoich umiejętności do potrzeb szybko rozwijającej się technologii, chcemy wykorzystać technologię do dostosowania procesu produkcyjnego do potrzeb pracownika, np. do kierowania nim i podnoszenia jego kwalifikacji. Oznacza to również obowiązek upewnienia się, że korzystanie z nowych technologii nie narusza podstawowych praw pracowników, takich jak prawo do prywatności, autonomii i godności ludzkiej.

Aby przemysł respektował ograniczenia naszej planety, musi być zrównoważony. Musi opracować procesy o obiegu zamkniętym, które ponownie wykorzystują lub poddają recyklingowi zasoby naturalne, zmniejszają ilość odpadów i negatywny wpływ na środowisko. Zrównoważony rozwój oznacza zmniejszenie zużycia energii i emisji gazów cieplarnianych, aby uniknąć wyczerpania i degradacji zasobów naturalnych, zapewniając potrzeby dzisiejszych pokoleń bez narażania potrzeb przyszłych pokoleń.

Odporność na zakłócenia (rezyliencja) odnosi się do potrzeby rozwinięcia wyższego stopnia odporności produkcji przemysłowej na wszelkie zaburzenia i zakłócenia, co może mieć



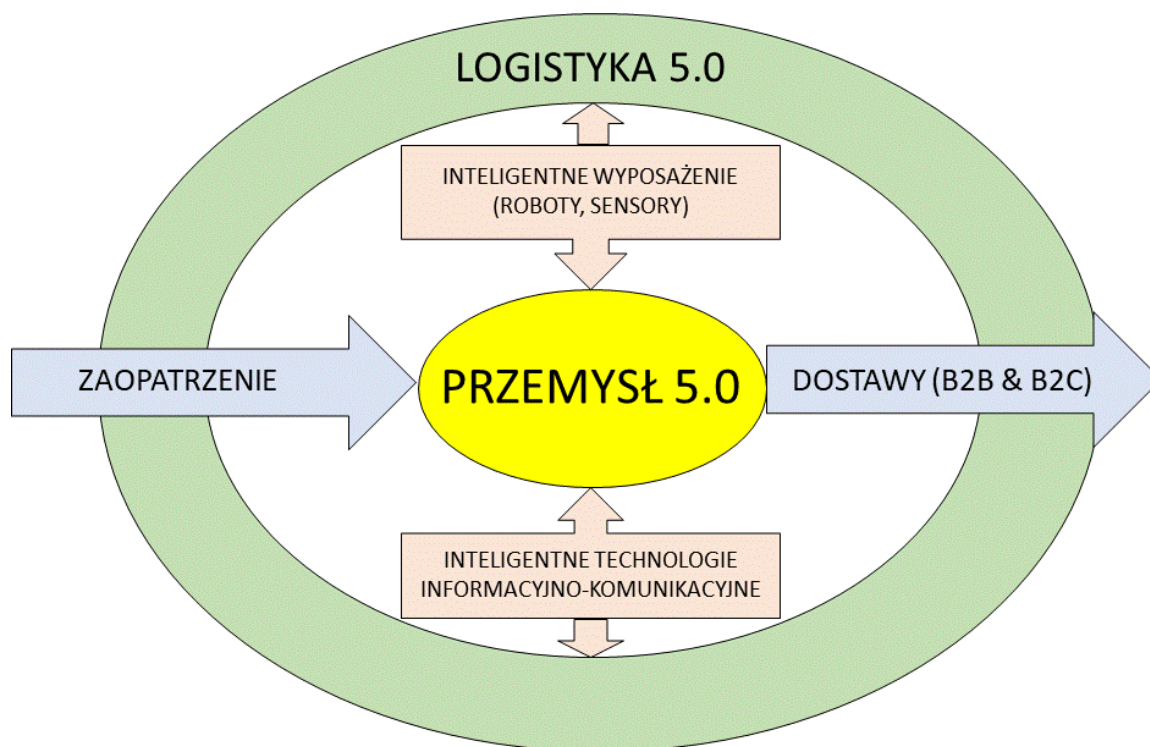
szczególne znaczenie np. dla infrastruktury krytycznej w sytuacjach kryzysowych (Bukowski, 2023). Zmiany geopolityczne i kryzysy naturalne, takie jak pandemia Covid-19, podkreślają kruchość naszego obecnego podejścia do zglobalizowanej produkcji. Należy je zrównoważyć poprzez opracowanie wystarczająco odpornych strategicznych łańcuchów wartości, elastycznych zdolności produkcyjnych i zwinnych procesów biznesowych, zwłaszcza tam, gdzie łańcuchy wartości zaspokajają podstawowe potrzeby ludzkie, takie jak opieka zdrowotna lub bezpieczeństwo.

Podsumowując ideę Przemysłu 5.0 można rozumieć jako *osiąganie celów społecznych wykraczających poza miejsca pracy i wzrost gospodarczy, aby stać się odpornym dostawcą dobrobytu, poprzez sprawienie, by produkcja szanowała granice naszej planety i umieszczenie dobrobytu pracownika przemysłu w centrum procesu produkcyjnego.*

Jednym z podstawowych warunków skutecznego wdrażania Przemysłu 5.0 jest dostosowanie logistyki do jego wymagań, co oznacza przejście z poziomu Logistyka 4.0 do poziomu Logistyka 5.0. Opierając się na powyżej sformułowanej idei Przemysłu 5.0 w praktyce Logistyka 5.0 powinna spełniać zatem następujące warunki:

- **Ukierunkowanie na człowieka**, czyli pracownicy są inwestycją długoterminową, a ich dobre samopoczucie i wykształcenie odgrywają kluczową rolę w przedsiębiorstwie, wszystkie cyfrowe systemy są połączone z ludźmi, a technologia jest dostosowywana do potrzeb i wymagań pracowników.
- **Zrównoważony rozwój**, czyli gospodarka w obiegu zamkniętym, z monitorowaniem i oceną wpływu na środowisko procesów i produktów oraz zmniejszenie marnotrawstwa zasobów w łańcuchach i sieciach dostaw.
- **Automatyzacja operacji logistycznych** przez wykorzystanie inteligentnego wyposażenia (sensory i roboty) oraz inteligentnych technologii informacyjno-komunikacyjnych (cyfryzacja i zastosowanie metod sztucznej inteligencji).
- **Optymalizacja niezawodności i bezpieczeństwa systemów i procesów logistycznych** przez zastosowanie inteligentnych metod modelowania i symulacji ze szczególnym uwzględnieniem odporności dynamicznej (rezyliencji) na ryzyko nieprzewidzianych zakłóceń i zaburzeń (zarówno naturalnych jak i celowo wywołanych przez czynnik ludzki).

Rys. 1 pokazuje schematycznie relacje między Przemysłem 5.0 a Logistyką 5.0 w ujęciu przepływowym. W dalszej części opracowania autorzy skupią się na konkretnych propozycjach realizacji wyżej wymienionych warunków oraz ocenie możliwości wdrożenia ich w praktyce w perspektywie najbliższych sześciu lat (czyli w horyzoncie czasowym do roku 2030).



Rys. 1 Relacje między Przemysłem 5.0 a Logistyką 5.0 w ujęciu przepływowym.

#### 4. Praktyczne uwarunkowania wdrażania Logistyki 5.0: przykłady rozwiązań informatycznych w nowoczesnych magazynach

Coraz więcej firm zleca realizację usług logistycznych, zwłaszcza funkcji magazynowych, zewnętrznym dostawcom usług logistycznych (3PL – Third Party Logistic Provider). W porównaniu do tradycyjnych usług transportowych i magazynowych, usługi oferowane przez dostawców 3PL są bardziej złożone i obejmują większą liczbę funkcji ze względu na potrzebę dostosowania się do różnych wymagań specyficznych dla klientów. Rynek ten dynamicznie się rozwija i aby skutecznie na nim konkurować wymagana jest wyższa wydajność procesów magazynowych i transportowych, a co za tym idzie ściślejsza kontrola zapasów, krótsze czasy reakcji i zarządzanie asortymentem o większej różnorodności produktów.

Od nowoczesnych obiektów magazynowych wymaga się przede wszystkim: elastycznej i sprawnej realizacji spersonalizowanych transakcji, obsługi i składowania dużej ilości różnorodnych produktów oraz tworzenia nowych usług wnoszących wartość dodaną dla klienta. W obiektach takich z reguły jest bardzo mało czasu na przetworzenie zamówień, w dodatku ich realizacja musi wiązać się z prawie zerowym marginesem błędów. Rośnie zapotrzebowanie na dane i informacje kontekstowe pochodzące z realizowanych procesów w czasie rzeczywistym. Takie wymagania pojawiają się ze względu na wysoce spersonalizowane zamówienia, które charakteryzują się zazwyczaj niewielką wielkością, ale za to dużą różnorodnością. Często barierą w osiągnięciu celów jest nieefektywny i niedokładny proces

komisjonowania, który ma negatywny wpływ na realizację zamówienia.

Rozwój nowoczesnego magazynu wymaga wsparcia ze strony technologii informacyjnych. Technologie te pozwalają na znaczną poprawę efektywności procesów magazynowych oraz jednocześnie zapewniają warunki integracji zapotrzebowania przedsiębiorstw, dystrybucji i zarządzania zapasami. Obecnie wykorzystywane rozwiązania techniczne i systemy informatyczne wspomagające zarządzanie procesami magazynowymi (WMS – Warehouse Management System) opierają się przede wszystkim o bazy danych, w których odzwierciedlone są m.in.: statyczna struktura magazynu (liczba i rodzaj stref składowania, topologia), logika realizacji podstawowych procesów i operacji magazynowych, dane dotyczące stanów zapasów. W systemach takich wykorzystywane są metody umożliwiające lokalną i najczęściej jednokryterialną optymalizację procesów oraz nieuwzględniające rzeczywistych i historycznych warunków mających wpływ na realizację procesów. Systemy informatyczne do zarządzania magazynami to systemy oprogramowania do przetwarzania w czasie rzeczywistym, które opierają się na rzetelnych i dostarczonych w odpowiednim momencie danych i informacjach. Dane te pochodzą z różnych źródeł, do których w obiektach magazynowych należą najczęściej czujniki i czytniki. Należą do nich standardowe i dobrze znane technologie jak systemy kodów kreskowych, technologie identyfikacji radiowej RFID, a także innowacyjne rozwiązania wykorzystujące rozszerzoną rzeczywistość (AR – Augmented Reality) oraz Internet Rzeczy (IoT – Internet of Things), czy czujniki wizyjne lub kamery inteligentne, których funkcją jest automatyczna analiza wizyjna zdefiniowanego obszaru (machine vision/computer vision).

**Rzeczywistość rozszerzona (AR)** to system, który łączy świat realny, otaczający użytkownika, z elementami generowanymi komputerowo, dodawanymi do obrazu rzeczywistego (fizycznego). AR łączy świat rzeczywisty z cyfrowym poprzez wizualizację użytecznej dla użytkownika informacji (wirtualnych obrazów, tekstów, dźwięków, danych GPS i in.) typowo na konkretnych obiektach, w sposób kontekstowy. Technologia rzeczywistości rozszerzonej obejmuje prezentację na urządzeniu obrazu rzeczywistego, wykorzystanie algorytmów przetwarzania danych pozyskanych z obrazów oraz z innych źródeł, a następnie prezentację wygenerowanej w ten sposób informacji. W przypadku zarówno urządzeń AR, jak i czujników IoT istotną rolę na efektywność rozwiązania mają nie tylko sprzęt oraz parametry techniczne urządzeń, ale stosowane algorytmy i technologie przetwarzania heterogenicznych zbiorów danych.

**Internet rzeczy (IoT)** to połączona sieć urządzeń fizycznych, pojazdów, budynków i innych obiektów wyposażonych w czujniki, oprogramowanie i łączność sieciową, umożliwiającą im

gromadzenie i wymianę danych. Służy to płynnej komunikacji i udostępnianiu danych między urządzeniami i systemami. Prowadzi to do poprawy wydajności, automatyzacji i w konsekwencji do skutecznego podejmowania decyzji. Kluczowa infrastruktura elementy Internetu rzeczy obejmuje:

- Urządzenia/przedmioty: Są to obiekty fizyczne wyposażone w czujniki i łączność w celu komunikowania się z otoczeniem i wymiany danych.
- Warstwa komunikacji: Urządzenia IoT wykorzystują różne protokoły komunikacyjne do przesyłania danych między sobą i do scentralizowanych systemów. Typowe opcje łączności obejmują Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, RFID, sieci komórkowe i sieci rozległe o niskim poborze mocy.
- Chmura obliczeniowa: Platformy chmurowe są kluczowe dla przechowywania i zarządzania ogromnymi ilościami danych generowanych przez urządzenia IoT. Usługi w chmurze oferują skalowalność, elastyczność i dostępność do przechowywania, przetwarzania i analizy danych. Ilość danych generowanych przez urządzenia IoT są często ogromne i zróżnicowane. Do przetwarzania i analizowania tych danych wykorzystywane są chmury obliczeniowe i przetwarzanie brzegowe (ang. edge computing) obejmuje przetwarzanie danych bliżej źródła (na urządzeniu lub w lokalnej bramie), zmniejszając opóźnienia i wykorzystanie przepustowości. Analiza danych zebranych z urządzeń IoT dostarcza cennych informacji. Analityka predykcyjna, uczenie maszynowe i sztuczna inteligencja pomagają uzyskać znaczące informacje, umożliwiając lepsze podejmowanie decyzji i automatyzację.

Ponieważ urządzenia IoT często obsługują wrażliwe dane, zapewnienie bezpieczeństwa ma kluczowe znaczenie. Wdrożenie silnego szyfrowania, bezpiecznego uwierzytelniania i regularnych aktualizacji oprogramowania ma zasadnicze znaczenie dla ochrony przed cyberzagrożeniami. Ustanowienie wspólnych standardów ma zasadnicze znaczenie dla zapewnienia, że urządzenia IoT różnych producentów mogą się ze sobą płynnie komunikować i współpracować. Standardy pomagają w osiągnięciu interoperacyjności i promowaniu bardziej otwartego i opartego na współpracy ekosystemu IoT.

IoT ma różnorodne zastosowania w różnych branżach. Przykłady obejmują inteligentne domy, monitorowanie opieki zdrowotnej, automatykę przemysłową, rolnictwo, inteligentne miasta i autonomiczne pojazdy. IoT umożliwia poprawę wydajności, oszczędność kosztów i rozwój innowacyjnych usług.

Ponieważ nowoczesna gospodarka w coraz większym stopniu opiera się na technologiach cyfrowych i Internecie, firmy czerpią korzyści z posiadania większej ilości danych. W miarę jak urządzenia stają się coraz bardziej połączone, generują, gromadzą i przesyłają większą ilość

przydatnych informacji, które można wydobywać w celu uzyskania cennych informacji na temat preferencji klientów, trendów rynkowych i potencjalnych nowych obszarów ekspansji biznesowej. Dzięki temu firmy mogą podejmować decyzje oparte na faktach i liczbach. Pomaga to organizacjom uzyskać przewagę konkurencyjną na swoich rynkach, a także zoptymalizować swoje działania, usprawnić procesy i zwiększyć wydajność. Inwestując w technologię przetwarzania w chmurze lub wykorzystując informacje dostarczane przez dane IoT, firmy mogą zwiększyć poziom obsługi klienta, jednocześnie tworząc dodatkowe źródła przychodów. Wdrażając usługi w chmurze, firmy mogą skuteczniej zarządzać zapasami, monitorować opinie klientów i zautomatyzować komunikację z klientami, aby informować ich na bieżąco o swoich usługach i produktach. Firmy mogą wykorzystywać dane dotyczące trendów finansowych oraz najnowszych innowacji, aby lepiej zrozumieć zachowania klientów. Może to pozwolić im zidentyfikować produkty i usługi, na które jest popyt lub opracować nowe innowacyjne produkty i usługi, które zaspokajają potrzeby określonych segmentów klientów, aby zwiększyć przychody.

Dane są z całą pewnością najbardziej wartościowym wymiarem w ekosystemie AR/IoT. Obecnie urządzenia takie mogą przechwytywać ogromne ilości danych, które mogą reprezentować najbardziej szczegółowe informacje dotyczące obiektów, z którymi są połączone. Stwarza to pole do wykorzystania szerokiej gamy algorytmów umożliwiających optymalizację realizowanych procesów w czasie rzeczywistym. Zastosowanie takich rozwiązań ma specyfikę podobną do zaawansowanej analityki danych i eksploracji (data analytics, data mining), hurtowni danych, Business Intelligence czy rozwiązań BigData, co silnie akcentuje duży potencjał rynkowy. Wspomniane rozwiązania – aby być efektywne – muszą być dedykowane dla konkretnego odbiorcy biznesowego. Standaryzowane rozwiązania, produkowane przez duże korporacje, nie zawsze spełniają wymagania funkcjonalne stawiane przez odbiorcę biznesowego, nie są w pełni dostosowane do specyfiki firmy czy innych uwarunkowań (biznesowych, społecznych, prawnych). Jednakże wadą znanych systemów i sposobów jest to że nie zapewniają one wystarczającej odporności (robustness) systemu w odpowiedzi na zmiany lub zakłócenia oraz nie zapewniają elastyczności i adaptacyjności operacji w celu zapewnienia zwinnych (agile) rozwiązań. Wadą znanych systemów i sposobów realizacji usług magazynowych jest również to, że w sposób niewystarczający zapewniają pewność dotrzymania terminu dostaw i wysyłki, efektywne wykorzystanie przestrzeni magazynowej. Ponadto znane systemy i sposoby realizacji usług magazynowych nie zapewniają odpowiednio szybkiej aktualizacji rzeczywistego stanu magazynowego oraz odpowiednio krótkiego czasu kompletacji zamówienia.

Nowoczesny system zarządzania magazynem ma za zadanie wspomagać realizowane procesy w gospodarce magazynowej. Wśród kluczowych procesów należy wyróżnić procesy zewnętrzne, takie jak dostawy i przyjęcie towarów do magazynu oraz realizacja zamówień klientów. Procesy te wspomagane są procesami wewnętrznymi zachodzącymi w magazynie polegającymi głównie na składowaniu, kompletacji i realizacji wydań magazynowych. Dzięki systemowi do realizacji usług magazynowych zapewnia się dostęp do aktualnej i wiarygodnej informacji, co umożliwi integrację i zoptymalizowaną koordynację procesów magazynowych. Na bazie zbieranych informacji z osprzętu i czujników rozmieszczonych w różnych częściach obiektu magazynowego, oraz na bazie danych zewnętrznych w systemie do realizacji usług magazynowych podejmowane są różnego rodzaju decyzje optymalizujące gospodarkę magazynową.

W niedalekiej przyszłości informacje będą zbierane z wspomnianej wcześniej tzw. inteligentnej palety lub zestawu kamer wchodzący w skład osprzętu w strefie kompletacji i pickingu, który będzie pełnił funkcję nadzorującą proces wprowadzania danych. Funkcja ta nie wymaga ciągłej rejestracji obrazów, a identyfikacji zdarzeń, które powinny zostać odnotowane w systemie informatycznym. Zdarzeniami będą m. innymi przyjęcie dostawy całopaletowej, przyjęcie towarów o różnych gabarytach nieumieszczonych na paletach oraz przyjęcie zwrotów od klientów. Tego typu zdarzenia wymagają „odnotowania faktu ich zaistnienia” w systemie informatycznym. Wykorzystuje się do tego kody kreskowe lub systemy RFID. Obecnie wszelkiego rodzaju braki informacji powstające przez „nieodczytanie” kodu kreskowego lub niezadziałanie systemu automatycznej identyfikacji RFID pozostają czasowo nieujawnione w systemie informatycznym. System kamer, którego zadaniem jest wykrywanie zdarzenia, koreluje je z informacjami przesyłanymi do modułu zbierania/przetwarzania/monitorowania danych wejściowych (tj. ze zdefiniowanymi wcześniej wzorcami). Na podstawie wykrytych różnic, np. brak identyfikacji obiektu przy pomocy kodu kreskowego w bazie przy jednoczesnej jego identyfikacji przy pomocy systemu kamer, uruchamiany jest alarm mający zwrócić uwagę obsługi na zaistniałą niezgodność. W prototypowych rozwiązaniach do tego celu wykorzystuje się zdolne do uczenia się i adaptacji systemy, oparte o zastosowanie sieci neuronowych. Analiza obrazów jest korzystnie zrealizowana z wykorzystaniem dedykowanych urządzeń graficznych zawierających moduły elektroniczne do przetwarzania obrazów z zastosowaniem sieci neuronowych.

Inny obszar zastosowania IoT w magazynie to tzw. inteligentna półka znajdująca się w strefie kompletacji zamówień/pickingu. Służy ona do ciągłej kontroli stanu zapasu w regale (regalach), przekazywaniu w czasie rzeczywistym do obsługi magazynu za pośrednictwem

WCS (Warehouse Control System)/WMS (Warehouse Management System). Zastosowanie inteligentnej półki pozwala na eliminację oczekiwania na zatowarowanie półek, skrócenie czasu realizacji zlecenia, lepsze harmonogramowanie pracy magazynierów/wózków transportowych. Alternatywnie inteligentna półka może przekazywać do obsługi magazynu odpowiednie dyspozycje uzupełnienia zapasu w miejscu regałowym (półce).

Nowoczesny magazyn powinien charakteryzować się rozwiązaniami minimalizującymi zużycie energii. W tym celu jako jeden z elementów systemu można wykorzystać okablowanie strukturalne pozwalające na jednoczesny przesył sygnałów informacyjnych oraz zasilanie anteny (anten) w wykorzystaniem znanych z obszaru tzw. inteligentnych budynków, protokołów opartych o standard KNX, który to standard pozwala dostarczyć zasilanie do wybranego adresowanego gniazdka sieciowego. Zasilanie anteny (anten) w inteligentnej półce nie jest realizowane w sposób ciągły, dzięki zastosowaniu powyższej technologii zasilane i odczytywane są informacje z anten wybranych regałów w alejce.

Innym obszarem działalności magazynu wymagającym minimalizacji zużycia energii jest proces kompletacji. W wielu pracach i badaniach zwraca się uwagę na znaczenie operacji komisjonowania w stosunku do całkowitego kosztu eksploatacji magazynu, szacując go na poziomie około 50–60% całkowitych kosztów związanych z zarządzaniem magazynem. Szybkość, z jaką można realizować proces komisjonowania, zależy w dużej mierze od lokalizacji, w której znajdują się lub muszą znajdować się towary, a zaproponowany moduł nadzoru inteligentnych półek na regałach pickingowych. Określenie optymalnych dróg zbiórki dla operatorów realizujących zlecenia kompletacyjne to istotny i praktycznym problemem, który jest złożonym zadaniem kombinatorycznym i stanowi szczególny przypadek problemu komiwojażera (TSP). Tradycyjne sposoby i algorytmy wyznaczania optymalnych ścieżek z względu na złożoność problemu (tzw. problem NP-trudny) mają ograniczone możliwości zastosowania w rozwiązaniach czasu rzeczywistego. W przyszłości planuje się zastosowanie rozwiązań sprzętowych do wyznaczania ścieżek zbiórek (np. wykorzystanie procesorów GPU zamiast CPU mających kilkukrotnie wyższą wydajność przy obliczeniach na dużych zbiorach danych). Zadaniem modułu wyznaczania optymalnej ścieżki kompletacji zamówienia jest określenie optymalnych dróg zbiórki dla operatorów realizujących zlecenia kompletacyjne. Istotnym i praktycznym problemem jest wyznaczenie takich rozwiązań w czasie rzeczywistym. Zagadnienie wyznaczania ścieżek operatora (Picker Routing Problem) jest złożonym zadaniem kombinatorycznym i stanowi szczególny przypadek problemu komiwojażera (TSP). Tradycyjne sposoby i algorytmy wyznaczania optymalnych ścieżek z względu na złożoność problemu (tzw. problem NP-trudny) mają ograniczone możliwości zastosowania w

rozwiązaniach czasu rzeczywistego. W proponowanym rozwiązaniu planuje się zastosowanie rozwiązań sprzętowych do wyznaczania ścieżek zbiórek (np. wykorzystanie procesorów GPU zamiast CPU mających kilkukrotnie wyższą wydajność przy obliczeniach na dużych zbiorach danych). Tego typu rozwiązania i algorytmy będą sprzężone ze sposobem pracy wózka widłowego. Sterowanie pracą wózka odbywać się będzie w sposób półautomatyczny. Wielkością sterowaną będzie prędkość jazdy wózka. Algorytmy wykorzystujące np. zbiory rozmyte będą tak sterować prędkością jazdy wózka, aby zminimalizować jego zużycie eksploatacyjne i energię. Zadaniem operatora wózka będzie utrzymywanie toru jazdy wózka, system automatycznie będzie dostosowywał jego prędkość do aktualnych potrzeb. Potrzeby te zależne będą od ciężaru transportowanego produktu, dopuszczalnych przyspieszeń i opóźnień, które mogą być definiowane indywidualnie dla produktu oraz odległości i sposobu jej pokonania przez wózek. Każdy z poruszający się wózków będzie wyposażony w nadajnik radiowy (IoT jako swego rodzaju system agentowy), który będzie komunikował się z innymi wózkami znajdującymi się w bliskiej okolicy oraz infrastrukturą magazynu. Algorytm sterowania prędkości wózków będzie miał za zadanie, w przypadku zbliżania się do siebie pojazdów na skrzyżowaniach, tak sterować ich prędkościami, aby umożliwić swobodne, bezkolizyjne pokonanie skrzyżowań z jednoczesną minimalizacją strat energii wynikającą z potrzeby hamowania i ewentualnego zatrzymania wózka. Jednym z nadrzędnych celów algorytmu sterowania prędkością będzie minimalizacja strat energii oraz wydłużenie czasu eksploatacji wózka poprzez jego racjonalne wykorzystanie.

Współczesne trendy w transporcie to opracowanie modeli i algorytmów umożliwiających katalogowanie, standaryzowanie oraz analizę istniejących algorytmów optymalizacyjnych i przetwarzanych danych. Do tego celu potrzebna jest baza precedensów, tzn. przypadków użycia poszczególnych algorytmów z parametrami do rozwiązania konkretnych problemów. Informacje zawarte w takiej bazie posłużą do uczenia systemu automatycznie dobierającego algorytmy i parametry do wybranego problemu. Rozwijane narzędzie umożliwi deponowanie struktur danych, informacji o źródłach oraz sposobie ich pozyskania i przetworzenia do postaci modelu problemu. Zapewni automatyczną ocenę jakości danych oraz adaptacyjny ich preprocessing. Przyczyni się do lepszego zarządzania spójnością danych i modeli oraz umożliwi ich aktualizację. Z opracowania mogą platformy korzystać moduły systemu TMS Falcon (logistyka transportu- OPTIDATA)<sup>2</sup>. Umożliwi to odpowiedni dobór rozwiązań podczas wdrażania produktu u nowego klienta, wewnątrz firmy zapewni zaś efektywne strojenie algorytmów oraz ciągłe ich udoskonalanie.

Kolejny trend do budowa systemów ekspertowych wspomagających podejmowanie decyzji



człowieka nie tylko na podstawie wiedzy, ale również na podstawie postaw behawioralnych decydenta. Obecnie sztuczna inteligencja potrafi lepiej lub gorzej analizować emocje i zachowania ludzi. Włączenie pierwiastka zachowania behawioralnego człowieka w proces wspomaganie decyzji pozwoliłoby na uwzględnienie różnych stanów emocjonalnych człowieka towarzyszących procesowi podejmowania decyzji. Komunikacja typu klawiatura – człowiek nie zawsze pozwala na odzwierciedlenie stanu emocjonalnego człowieka, który jest niezwykle istotny w procesie podejmowania decyzji. Interakcja „na żywo” typu analiza on-line obrazu, analiza głosu z systemem ekspertowym wspierającym decydenta pozwalałaby na pewne warunkowanie propozycji rozwiązań problemów w zależności od stanów emocjonalnych, presji czy innych czynników behawioralnych, który podawany byłby decydent w danym momencie.

## **5. Podsumowanie i wnioski końcowe**

Skuteczne i efektywne wdrażanie koncepcji Przemysł 5.0 wymaga pełnej synergii z rozwojem Logistyki 5.0. Oba te obszary oparte są na nowoczesnych technologiach, w którym świat fizyczny i cyfrowy są zarządzane jako jedność, a organizacje oraz poszczególni ludzie mogą wchodzić w interakcje z cyfrowym odpowiednikiem rzeczy fizycznych w otaczającej nas przestrzeni trójwymiarowej. Rozwój technologiczny oparty głównie na Internecie Rzeczy uważany jest za podstawę rozwoju Logistyki 5.0. Najczęściej stosowanymi technologiami w kontekście Logistyki 5.0 są również Analityka Big Data (BDA) oraz Identyfikacja Falami Radiowymi (RFID). Zastosowanie koncepcji Logistyki 5.0 w praktyce sprawi, że procesy logistyczne będą bardziej odporne i zrównoważone, a decyzje podejmowane przez ludzi bardziej trafne, a zarazem przyjazne dla społeczeństwa oraz środowiska naturalnego.

Przewiduje się, że przyszłe kierunki badań będą skupione na następujących aspektach wdrażania Logistyki 5.0:

- zrozumienie przez menedżerów przedsiębiorstw znaczenia korzystania z technologii wspierających Logistykę 5.0 oraz zdobywania dogłębnej wiedzy na temat czynników, które wpływają na przyjęcie tej koncepcji;

- opracowanie metody pomiaru niezbędnej, aby poznać wartość ekonomiczną, opłacalność oraz przewagę konkurencyjną oferowaną przez technologie Logistyki 5.0;
- zapewnienie wymaganego poziomu bezpieczeństwa cybernetycznego w stosowanych technologiach Logistyki 5.0;
- opracowanie podstaw naukowych Logistyki 5.0, które wykorzystują metaheurystykę, modelowanie matematyczne oraz symulację procesową;
- dostosowanie stosowanych technologii do ludzkich wartości, aby umożliwić efektywną współpracę z pracownikami logistycznymi oraz pomagać w procesach decyzyjnych dzięki hybrydowemu połączeniu ludzkiej i sztucznej inteligencji.

## Literatura

- Adamczewski, P. (2016). E-logistyka ery now economy. *Przedsiębiorczość i zarządzanie*, XVII(12/1), 9-2.
- Blaik, P. (2010). *Logistyka. Koncepcja zintegrowanego zarządzania*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Blaik, P., & Matwiejczuk, R. (2008). *Logistyczny łańcuch tworzenia wartości*. Wydawnictwo Uniwersytetu Opolskiego, Opole.
- Blanchard, B.S. (2015). *Logistics Engineering and Management*. Pearson Education.
- Bukowski, L. (2016). *Zapewnienie ciągłości dostaw w zmiennym i niepewnym otoczeniu*. Wydawnictwo Naukowe WSB w Dąbrowie Górniczej, Dąbrowa Górnicza.
- Bukowski, L. (2019). *Reliable, Secure and Resilient Logistics Networks. Delivering products in a risky environment*. Springer Nature Switzerland AG 2019, ISBN 978-3-030-00849-9 (Hardcover), ISBN 978-3-030-00850-5 (eBook)
- Bukowski, L. (2023) *Cognitive Dependability Engineering: Managing Risks in Cyber-Physical-Social Systems under Deep Uncertainty*, CRC Press, Taylor & Francis Group, ISBN: 9780367897307 HB; 9781003020752 EB (eBook),
- Coyle, J.J., Bardi, E.J., & Langley C.J.Jr. (2010). *Zarządzanie Logistyczne*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., Warszawa.
- Gudehus, T., & Kotzab, H. (2009). *Comprehensive Logistics*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Harisson, A., & van Hoek, R. (2010). *Zarządzanie Logistyką*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., Warszawa.
- ISO, (2009). *Risk Management – Principles and Guidelines*. ISO 31000:2009.
- Jünemann, R. (1989). *Materialfluss und Logistik*. Springer.
- Kagermann, H., Wahlster, W. & Helbig, J. (2013). *Recommendation for implementing Industry 4.0*. acatech – National Academy of Science and Engineering.
- Kirsch, W., Bamberger, I., Gabele, E., & Klein H.K. (1973), *Betriebswirtschaftliche Logistik – Systeme, Entscheidungen, Methoden*. Gabler, Wiesbaden.
- Krawczyk, S. (2011). *Logistyka. Teoria i praktyka*. Wydawnictwo Difin, Warszawa.
- Lasch, R. (2014). *Strategisches und operatives Logistikmanagement: Prozesse*. Springer Gabler, Wiesbaden.
- Michłowicz, E. (2002). *Podstawy logistyki przemysłowej*, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica, Kraków.
- Morgenstern, O. (1955). *Note on the Formulation of the Theory of Logistics*. Neval Research Logistics Quartely, Nr 5, ss. 129-136.

- Pfohl, H. Ch. (1998). *Systemy logistyczne. Podstawy organizacji i zarządzania*. Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań.
- Schönsleben, P. (1998). *Integrales Logistikmanagement. Planung und Steuerung von umfassenden Geschäftsprozessen*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Ślusarczyk, B., Haseeb, M. & Hussain, H.I. (2019). Fourth industrial revolution: a way forward to attain better performance in the textile industry. *Engineering Management in Production and Services*, 7(4), 54-64.
- Stock, J.R. & Lambert, D.M. (2001). *Strategic Logistics Management*, Mc Grow-Hill Higher Education.
- Strandhagen, J.O., et al. (2017). Logistics 4.0 and emerging sustainable business models, *Advances in Manufacturing*, 5: 359.
- Tadejko, P. (2015). Application of Internet of Things in Logistics – current challenges. *Engineering Management in Production and Services*, 7(4), 54-64.
- Wieland, A., Handfield, R.B., & Durach, C.F. (2016). Mapping the landscape of future research themes in supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 37(3), 205-212.
- Witkowski, J. (2010). *Zarządzanie łańcuchem dostaw: koncepcje, procedury, doświadczenia*, PWE, Warszawa.

[https://research-and-innovation.ec.europa.eu/knowledge-publications-tools-and-data/publications/all-publications/industry-50-towards-sustainable-human-centric-and-resilient-european-industry\\_en?gad\\_source=1&gclid=Cj0KCCQiA5rGuBhCnARIsAN1](https://research-and-innovation.ec.europa.eu/knowledge-publications-tools-and-data/publications/all-publications/industry-50-towards-sustainable-human-centric-and-resilient-european-industry_en?gad_source=1&gclid=Cj0KCCQiA5rGuBhCnARIsAN1)

[https://www.optidata.pl/ooprogramowanie/wms-optipromag/?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjwnv-vBhBdEiwABCYQA-vyc8jy0kwJ23aDqeVLew16Kot-HObDwdetTPgPE7cRpFoHeABjvBoCBi8QAvD\\_BwE](https://www.optidata.pl/ooprogramowanie/wms-optipromag/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwnv-vBhBdEiwABCYQA-vyc8jy0kwJ23aDqeVLew16Kot-HObDwdetTPgPE7cRpFoHeABjvBoCBi8QAvD_BwE)