

Michał Kępa✉, Adrian Kępa
Politechnika Warszawska

Rozwój technologii magazynowych jako odpowiedź na dynamiczny rozwój e-commerce

Development of warehouse technologies as a response to the dynamic development of e-commerce

Synopsis. Celem artykułu było rozpoznanie wpływu rozwoju e-commerce na automatyzację procesów w sektorze magazynowym. Przeanalizowano, w jakim stopniu wzrost e-commerce wpłynął na wdrażanie nowoczesnych technologii w logistyce magazynowej oraz jakie firmy implementują te rozwiązania. Analiza opierała się na przeglądzie literatury naukowej oraz raportów branżowych, które pozwoliły zidentyfikować nowoczesne technologie stosowane w obiektach logistycznych. Przeprowadzono także sondaż diagnostyczny z wykorzystaniem kwestionariusza ankiety wśród firm świadczących usługi magazynowe. Zebrane dane wskazują, że większość przedsiębiorstw wdrożyła innowacyjne rozwiązania w odpowiedzi na rosnące wymagania związane z szybkością i dokładnością realizacji zamówień w handlu internetowym. Na podstawie 172 odpowiedzi respondentów stworzono mapę przedstawiającą rozmieszczenie magazynów wykorzystujących nowoczesne technologie na terenie Polski. Wnioski płynące z badania wskazują, że rozwój e-commerce znacząco przyspiesza wprowadzanie innowacyjnych rozwiązań technologicznych w magazynach.

Słowa kluczowe: e-commerce, technologie magazynowe, logistyka magazynowa, automatyzacja procesów

Abstract: The aim of the article was to identify the impact of e-commerce development on the process automation of processes in the warehousing sector. It analyzes the extent to which the growth of e-commerce has influenced the implementation of modern technologies in warehouse logistics, as well as which companies are adopting these solutions. This analysis is based on a review of scientific literature and industry reports, which made it possible to identify modern technologies used in logistics facilities. A survey was also conducted among companies providing warehousing services. The collected data indicate that the majority of companies have

✉ **Michał Kępa** – Politechnika Warszawska, Wydział Transportu; michal.kepa2.stud@pw.edu.pl; <https://orcid.org/0009-0004-7095-1757>

Adrian Kępa – Politechnika Warszawska, Wydział Transportu; adrian.kepa.stud@pw.edu.pl; <https://orcid.org/0009-0000-9166-2680>

implemented modern technologies in response to increasing demands for speed and accuracy in order fulfillment within online commerce. Based on 172 survey responses, a map was created to illustrate the distribution of warehouses utilizing modern technologies across Poland. The findings of the study indicate that the development of e-commerce significantly accelerates the adoption of innovative technological solutions in warehouses.

Keywords: e-commerce, warehouse technologies, warehouse logistics, process automation

Kody JEL: R41, R49

Wprowadzenie

Współczesny świat zмага się z szeregiem wyzwań, które znacząco wpływają na funkcjonowanie logistyki, będącej kluczowym elementem wielu gałęzi gospodarki. Odgrywa ona strategiczną rolę w zapewnianiu dostępności towarów oraz utrzymaniu ciągłości łańcuchów dostaw, co jest szczególnie ważne w czasach kryzysów i dynamicznych zmian rynkowych. Przykładem jest pandemia wirusa SARS-CoV-2, kiedy obostrzenia takie jak zamknięcie sklepów przyczyniły się do szybkiego rozwoju branży e-commerce. Jak wynika z raportu OECD, w pierwszej połowie 2020 roku udział e-commerce w sprzedaży detalicznej wzrósł w wielu krajach o ponad 10 punktów procentowych [Serwis RP 2020]. Doskonale pokazuje to, jak ogromne było zapotrzebowanie na zakupy online w tym czasie. Wzrost znaczenia sprzedaży internetowej uwidocznił, w jak dużym stopniu rynek logistyczny zależy od globalnych wydarzeń i musi elastycznie dostosowywać się do nowych wyzwań. Rozwój handlu internetowego nie tylko przyczynił się do rozwiązania problemów konsumentów i przedsiębiorstw, ale także zmienił sposób, w jaki konsumenci postrzegają i realizują zakupy. Wygoda, brak konieczności opuszczenia domu, oszczędność czasu oraz dostęp do szerokiego asortymentu sprawiły, że nawet po wycofaniu największych ograniczeń związanych z pandemią wielu konsumentów nadal chętnie korzysta z e-commerce jako głównej formy zakupów. Sytuacja ta silnie odbiła się na sektorze magazynowym. Konieczne było przyspieszenie realizacji licznych procesów logistycznych w celu zaspokojenia rosnącego popytu na towary zamawiane przez Internet.

Wraz z rozwojem handlu internetowego wzrósł również stopień automatyzacji procesów magazynowych. Tradycyjne modele oparte na ręcznej kompletacji zamówień i długotrwałym sortowaniu przesyłek okazały się niewystarczające, co skłoniło przedsiębiorstwa do wdrażania nowoczesnych technologii. Zmienił się także profil działalności magazynów. Wcześniej koncentrowały się one głównie na obsłudze dużych dostaw do sklepów stacjonarnych, a obecnie coraz częściej pełnią funkcję centrów dystrybucyjnych realizujących zamówienia indywidualne. Celem niniejszego artykułu jest dokonanie przeglądu dostępnych źródeł wiedzy, takich jak literatura naukowa i raporty branżowe, oraz analiza wybranych rozwiązań technologiczno-organizacyjnych, które pozwoliły magazynom zwiększyć wydajność i dostosować się do dynamicznego rozwoju e-commerce.

Omówiono kluczowe innowacje, które wspierają szybkie i efektywne realizowanie zamówień online. Przedstawiono również wyniki sondażu diagnostycznego przeprowadzonego wśród menedżerów magazynów, specjalistów ds. logistyki oraz przedstawicieli sektora e-commerce. Celem badania było określenie skali i skuteczności wykorzystywanych rozwiązań oraz poznanie problemów związanych z ich wdrażaniem. Wyniki sondażu mogą posłużyć jako pomoc w analizie aktualnych danych na temat kierunków rozwoju sektora magazynowego w kontekście rosnących wymagań rynku e-commerce.

Materiały i metody

Żeby zrealizować cele badawcze, zastosowano podejście obejmujące dwie zasadnicze metody: analizę literatury oraz sondaż diagnostyczny z wykorzystaniem kwestionariusza ankiety. W pierwszej kolejności dokonano przeglądu literatury naukowej i branżowej obejmującego publikacje z zakresu logistyki magazynowej, automatyzacji procesów oraz wpływu e-commerce na rozwój technologii logistycznych. Uwzględniono również raporty instytucji naukowych i agencji badawczych, co pozwoliło na identyfikację kluczowych trendów rynkowych oraz technologii stosowanych w nowoczesnych magazynach.

Na kolejnym etapie przeprowadzono sondaż diagnostyczny z wykorzystaniem kwestionariusza ankiety skierowany do przedstawicieli przedsiębiorstw świadczących usługi magazynowe na terenie Polski. Celem badania było określenie zakresu wdrożenia nowoczesnych technologii, identyfikacja głównych motywacji i barier w tym obszarze, a także ocena wpływu rozwoju e-commerce na tempo modernizacji magazynów. Kwestionariusz ankietowy miał charakter zamknięty i został opracowany przez autorów na potrzeby niniejszego badania. Zawierał pytania dotyczące m.in. wielkości przedsiębiorstwa, lokalizacji magazynu, przyczyn wdrażania innowacji, problemów napotkanych podczas modernizacji oraz zastosowanych rozwiązań technologicznych. Zgromadzone dane poddano analizie ilościowej. Na podstawie 172 otrzymanych odpowiedzi opracowano mapę przedstawiającą rozmieszczenie magazynów wykorzystujących nowoczesne technologie w Polsce, co umożliwiło identyfikację regionalnych różnic w stopniu automatyzacji oraz koncentracji innowacyjnych rozwiązań logistycznych.

Wpływ ograniczeń pandemicznych na branżę e-commerce

Pandemia wirusa SARS-CoV-2 oraz wiążące się z nią ograniczenia wywarły znaczący wpływ na rozwój sektora e-commerce oraz rynku magazynowego, przyspieszając wzrost sprzedaży internetowej i zwiększając zapotrzebowanie na powierzchnie magazynowe. Jednak sektor e-commerce cechował się stosunkowo szybkim tempem rozwoju oraz corocznym zwiększaniem obrotów jeszcze przed rokiem 2020. Zgodnie z szacunkami opublikowanymi przez podmiot badawczy SOAX, wartość globalnego rynku e-commerce w 2015 roku wynosiła ok. 1,34 bln USD, natomiast w 2024 roku osiągnęła poziom 6,33 bln USD, co wskazuje na dynamiczny wzrost sektora w analizowanym okresie. Natomiast prognozy na rok 2025 zapowiadają, że wartość tego rynku sięgnie 6,77 bln USD, co stanowi wzrost o 8,63% względem roku ubiegłego [SOAX 2025]. W Europie można było

wyraźnie dostrzec intensywny rozwój handlu elektronicznego na przestrzeni ubiegłych lat. W 2019 roku 77% obywateli Niemiec dokonało zakupu online, we Francji odsetek ten wyniósł 67%, natomiast w Czechach i na Słowacji z zakupów internetowych skorzystało 59% mieszkańców. W Polsce w 2019 roku wartość rynku e-commerce szacowano na ok. 50 mld PLN, co stanowiło 11% całego handlu detalicznego w kraju [Sempire 2021]. Sklepów internetowych w Polsce systematycznie przybywało, osiągnęły one w 2019 roku liczbę 36 600, a w 2020 roku już 44 500 [Wasielowski 2020]. Dane te jednoznacznie wskazują, że przed pandemią wirusa SARS-CoV-2 branża e-commerce rozwijała się w stosunkowo szybkim tempie. W tabeli 1 przedstawiono natomiast wpływ ograniczeń pandemicznych na obiekty logistyczne.

Tabela 1. Ograniczenia pandemiczne i ich wpływ na branżę e-commerce

Table 1. Pandemic restrictions and their impact on the e-commerce industry

Ograniczenie pandemiczne	Bezpośredni skutek	Wpływ na obiekty logistyczne
Zamknięcie sklepów stacjonarnych	wzrost popularności zakupów internetowych	zwiększone obciążenie magazynów i centrów dystrybucyjnych
Ograniczenie liczby osób w sklepach	wydłużony czas zakupów, unikanie sklepów stacjonarnych	większe zapotrzebowanie na szybkie dostawy, szczególnie produktów szybkozbywalnych
Brak możliwości swobodnego przemieszczania się	wzrost liczby dostaw do domów	konieczność zwiększenia liczby kurierów, większa liczba wysyłek z magazynów
Wzrost zapotrzebowania na środki ochrony (maseczki itd.)	częste braki towaru w sklepach	konieczność zwiększenia powierzchni magazynowej na określone towary

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

Nowoczesne rozwiązania technologiczne

Nowatorskie metody kompletacji

Współczesna logistyka magazynowa przechodzi nieustanną ewolucję z uwagi na rosnące wymagania rynku e-commerce, zwiększającą się liczbę dziennych zamówień i dynamiczną rotację towarów. W odpowiedzi na te zmiany przedsiębiorstwa coraz chętniej sięgają po nowoczesne technologie, które usprawniają proces kompletacji zamówień.

Technologia *pick by light* to jedno z najnowocześniejszych rozwiązań stosowanych w magazynach, znacząco usprawniające proces kompletacji zamówień. Polega na wykorzystaniu systemu świetlnego w celu wskazania pracownikom dokładnej lokalizacji towarów oraz liczby sztuk do pobrania. Każda lokacja magazynowa jest wyposażona w moduł świetlny z wyświetlaczem zlokalizowanym bezpośrednio pod pojemnikiem, w którym znajduje się dana pozycja asortymentowa. Moduł ten zapala się w momencie, kiedy należy pobrać dany produkt. Technologię *pick by light* zaprezentowano na rysunku 1.

Dzięki technologii *pick by light* pracownik magazynu nie musi korzystać z papierowych list kompletacyjnych ani skanować kodów – wystarczy, że poda za sygnalizacją świetlną i potwierdza pobranie towaru przez przyciśnięcie przycisku, co automatycznie aktualizuje dane w systemie zarządzania magazynem (WMS).



Rysunek 1. Technologia *pick by light*

Figure 1. Pick by Light technology

Źródło: [Luca 2022a]

Source: [Luca 2022a]

Jest ona szczególnie skuteczna w magazynach obsługujących towary drobnicowe, takie jak elektronika, kosmetyki lub leki, ponieważ minimalizuje ryzyko pomyłek, przyspiesza proces kompletacji i umożliwia sprawne zarządzanie dużą liczbą zamówień. Według deklaracji producentów technologii *pick by light* jej dokładność jest bardzo wysoka. Poziom błędów może się różnić w zależności od poszczególnych czynników, ale wynosi średnio od 0,03 do 0,1%, co gwarantuje dokładność na poziomie od 99,90 do nawet 99,97%, praktycznie eliminując ryzyko wystąpienia pomyłki [Luca 2022b]. Dzięki precyzyjnemu wskazywaniu lokalizacji produktów system znacząco skraca czas ich poszukiwania, co jest kluczowe w przypadku magazynów o dużej rotacji towarów. Badania pokazują, że umożliwia to skrócenie czasu realizacji zleceń o 73% w porównaniu z metodą tradycyjną, która opiera się na papierowej liście i skanowaniu przy użyciu ręcznego skanera [Sobczak 2014]. Rozwiązanie to znajduje szerokie zastosowanie w branży e-commerce, której klienci oczekują szybkiej i bezbłędnej realizacji zamówień. *Pick by light* pozwala na jednoczesną kompletację wielu zamówień, redukuje liczbę błędów oraz skraca czas potrzebny na wdrożenie nowych pracowników, ponieważ obsługa systemu jest intuicyjna i nie wymaga długiego szkolenia. Wspiera także strategie szybkiej logistyki takie jak *same day delivery*, umożliwiając magazynom błyskawiczne realizowanie zamówień i dostosowanie się do rosnących oczekiwań klientów. Wdrożenie technologii *pick by light* w magazynach obsługujących asortyment drobnicowy oraz e-commerce przynosi wiele korzyści, w tym zwiększenie efektywności pracy, redukcję kosztów operacyjnych i poprawę dokładności kompletacji.

Kolejną nowoczesną metodą kompletacji jest metoda *pick by vision*, która korzysta z technologii okularów *augmented reality* (AR). To nowatorskie rozwiązanie zmienia oblicze procesu kompletacji zamówień w magazynach. Dzięki technologii rozszerzonej rzeczywistości pracownicy zyskują wsparcie w szybkim i precyzyjnym pobieraniu towarów. Okulary AR umożliwiają im śledzenie w czasie rzeczywistym wizualnych wskazówek, które prowadzą do odpowiednich lokalizacji produktów oraz informują

o wymaganej liczbie pobrań danej pozycji asortymentowej. Wyświetlane w okularach informacje eliminują konieczność używania papierowych list czy ręcznych skanerów. Wskazówki wizualne mogą przyjmować formę strzałek prowadzących do konkretnego miejsca, a także podświetlenia szukanych pojemników czy półek z towarami. Pracownik ma także możliwość potwierdzenia pobrania towaru poprzez prostą interakcję, na przykład dotknięcie przycisku w okularach, co automatycznie aktualizuje dane w systemie zarządzania magazynem (WMS). Dodatkowo okulary AR pozwalają na skanowanie kodów kreskowych, co znacznie przyspiesza proces kompletacji zamówień. Możliwość rejestrowania obrazu stanowi również zabezpieczenie dla firmy w przypadku ewentualnych reklamacji [Iron VR & Carbon Studio 2022]. Metoda *pick by vision*, podobnie jak *pick by light*, będzie szczególnie skuteczna w magazynach, które przechowują dużą liczbę różnorodnych towarów, takich jak elektronika, odzież czy części samochodowe, a także w branży e-commerce. System AR może również dostarczać dodatkowych informacji, na przykład dotyczących priorytetu realizacji zamówienia czy szczegółów produktów, co jeszcze bardziej usprawnia proces kompletacji. Technologię *pick by vision* przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 2. Technologia *pick by vision*

Figure 2. Pick by Vision technology

Źródło: [Automation Media 2019]

Source: [Automation Media 2019]

Innym ważnym zastosowaniem okularów AR jest wspieranie szkoleń pracowników oraz organizacji procesów magazynowych. Dzięki tej technologii nowi pracownicy mają możliwość nauczenia się w bezpiecznych warunkach obsługi skomplikowanych systemów, w tym pojazdów autonomicznych oraz procedur związanych z kompletacją i pakowaniem zamówień [Windhausen i in. 2024]. Możliwe jest także symulowanie rzeczywistych warunków pracy w magazynach wysokiego składowania, dzięki czemu pracownicy mogą się uczyć bezpiecznego poruszania w takim środowisku. Technologia AR nie tylko skraca czas wdrażania nowego personelu, ale również redukuje ryzyko błędów oraz zwiększa efektywność operacyjną firm logistycznych.

Autonomiczne roboty mobilne

W obliczu rosnącej liczby zamówień, zwiększającej się różnorodności składowanych produktów (SKU) oraz konieczności optymalizacji przestrzeni magazynowej i zasobów ludzkich kluczowe staje się wdrażanie nowoczesnych technologii usprawniających logistykę. Jednym z najważniejszych przełomów w tym obszarze jest zastosowanie autonomicznych robotów mobilnych (AMR), które rewolucjonizują proces kompletacji poprzez przejście z tradycyjnej metody „człowiek do towaru” na model „towar do człowieka”. Dzięki temu rozwiązaniu pracownicy nie muszą już pokonywać długich dystansów w magazynie, ponieważ roboty samodzielnie transportują produkty do stanowisk kompletacyjnych, co znacząco przyspiesza realizację zamówień. Jest to szczególnie istotne, gdyż kompletacja to najbardziej pracochłonny, a co za tym idzie generujący znaczne koszty proces magazynowania. Przeprowadzone analizy pokazują, że potrafi ona stanowić nawet 60% kosztu magazynowania [Drury 1988]. Autonomiczne roboty mobilne eliminują konieczność angażowania pracowników w transport towarów, co przekłada się na zwiększenie wydajności i zmniejszenie kosztów. Roboty te mogą samodzielnie przemieszczać się w przestrzeni i nie wymagają przy tym stałej infrastruktury nawigacyjnej, jak np. linie magnetyczne. Dzięki zastosowaniu sztucznej inteligencji, uczenia maszynowego oraz zaawansowanych systemów percepcyjnych, takich jak LIDAR (*light detection and ranging*), kamer wizyjnych i czujników ultradźwiękowych potrafią one dynamicznie reagować na zmieniające się otoczenie. Oznacza to, że zareagują np. na nagłe pojawienie się na trasie przeszkody. W takich sytuacjach mogą natychmiast się zatrzymać, zmienić trasę lub prędkość, aby uniknąć kolizji.

Dzięki tym możliwościom autonomiczne roboty mobilne znalazły szerokie zastosowanie w dużych centrach logistycznych obsługujących towary drobnicowe. Najlepszym przykładem jest amerykańska firma Amazon będąca liderem w dziedzinie robotyzacji procesów magazynowych. Obecnie w magazynach tego przedsiębiorstwa pracuje ponad 750 tys. robotów wspierających ludzi w realizacji zamówień [Aboutamazon 2024a]. Znaczącą część z nich stanowią autonomiczne roboty mobilne, w tym roboty Kiva. Możliwe było dzięki nim wprowadzenie nowego sposobu kompletacji, w myśl wspomnianej wcześniej zasady „towar do człowieka”. Proces ten przedstawiono na rysunku 3.

Algorytm procesu kompletacji przy zastosowaniu robotów Kiva składa się z kilku etapów:

1. Identyfikacja zadania przez robota i jego przemieszczenie się do odpowiedniej lokalizacji.
2. Pobranie wózka z artykułami i przetransportowanie go do stanowiska kompletacyjnego.
3. Postój we wskazanej lokalizacji i umożliwienie pracownikowi pobrania potrzebnych pozycji asortymentowych.
4. Po zakończeniu procesu pobierania przetransportowanie wózka do właściwego miejsca jego postoju.

Dzięki zastąpieniu tradycyjnej metody kompletacji nowoczesnym systemem z wykorzystaniem autonomicznych robotów mobilnych Kiva firma Amazon znacząco zwiększyła wydajność jednego ze swoich magazynów. Liczba obsługiwanych dziennie zamówień wzrosła z 700 tys. aż do 1,5 mln sztuk, czyli o ponad 114% [Bao 2025].



Rysunek 3. Proces kompletacji zamówień w magazynie Amazon

Figure 3. The order picking process in an Amazon warehouse

Źródło: [AllAboutLean.com 2025]

Source: [AllAboutLean.com 2025]

Autonomiczne roboty mobilne znalazły także zastosowanie poza obiektami magazynowymi, m.in. w dezynfekcji szpitali za pomocą promieniowania UV oraz w transporcie leków i sprzętu pomiędzy oddziałami podczas pandemii [Cornell University 2023]. Inteligentne szpitale zaczęły integrować autonomiczne roboty mobilne ze swoimi systemami zarządzania logistyką, co przyczyniło się do poprawy efektywności operacyjnej i zmniejszenia obciążenia pracowników. Roboty mogą pracować nieprzerwanie przez całą dobę, eliminując przestoje w produkcji i magazynowaniu. Dzięki wspomnianym zaawansowanym systemom wizyjnym i sensorycznym są w stanie unikać kolizji oraz bezpiecznie współdziałać z ludźmi w tej samej przestrzeni roboczej. Pozwala to zapewnić ciągłość operacji, jednocześnie zwiększając bezpieczeństwo zespołów pracowniczych [AI Business 2020]. W przeciwieństwie do tradycyjnych wózków widłowych, które potrzebują szerokich korytarzy, autonomiczne roboty mobilne potrafią się poruszać w bardziej zwartych przestrzeniach, co umożliwia efektywniejsze zagospodarowanie powierzchni magazynowej. Jednak pomimo licznych korzyści wprowadzenie autonomicznych robotów mobilnych wiąże się także z pewnymi wyzwaniami. Wysokie koszty początkowe, konieczność integracji z istniejącymi systemami oraz odpowiednie przeszkolenie personelu to tylko niektóre problemy konieczne do rozwiązania przez firmy wdrażające tę technologię. Ukryte koszty związane z utrzymaniem i serwisowaniem robotów mogą istotnie wpłynąć na opłacalność ich wykorzystywania, szczególnie w mniejszych przedsiębiorstwach [Russell 2024].

Automatyzacja procesu sortowania paczek

Automatyzacja sortowania paczek stała się kluczowym elementem w logistyce magazynowej, znacząco zwiększając wydajność tego procesu. Dzięki precyzyjnej manipulacji paczkami o różnych kształtach i rozmiarach, a także analizie obrazów w czasie rzeczywistym ramiona robotyczne skutecznie odciążają pracowników, eliminując konieczność ręcznej obsługi zamówień. W efekcie automatyzacja nie tylko zwiększa efektywność operacyjną, lecz także poprawia bezpieczeństwo w magazynach, zmniejszając ryzyko urazów i błędów. Do rozwiązań tego typu zaliczyć można m.in. robota Cardinal, który

jest wyposażony w nowoczesne systemy wizyjne oraz oprogramowanie sztucznej inteligencji umożliwiające precyzyjne identyfikowanie, chwytanie oraz sortowanie paczek. Może on obsługiwać przesyłki o wadze do ok. 22 kg, co znacząco odciąża pracowników w ręcznym przenoszeniu paczek [Aboutamazon 2023]. Ma to pozytywny wpływ także na bezpieczeństwo pracy w magazynie. Ręczne przenoszenie ciężkich paczek wiąże się ze zwiększonym zagrożeniem dla zdrowia pracowników, urazami kręgosłupa czy nadwyrężeniem mięśni. Dane z 2022 roku pokazują, że w zmodernizowanych centrach logistycznych firmy Amazon wskaźniki wypadków oraz incydentów były odpowiednio o 15 i 18% niższe w porównaniu z innymi obiektami [Aboutamazon 2024a]. Poza podniesieniem poziomu bezpieczeństwa, wprowadzenie ramienia robotycznego Cardinal stanowi kluczowy krok w kierunku osiągnięcia w przyszłości nawet 25-proc. wzrostu wydajności operacyjnej w porównaniu z tradycyjnymi metodami ręcznego sortowania – zgodnie z wizją i zapowiedziami kierownictwa Amazon Robotics [Aboutamazon 2024b]. Można się zatem spodziewać dalszego rozwoju tej technologii, pozwalającego na jeszcze większą integrację ramion robotycznych z procesami magazynowymi. Na rysunku 4 przedstawiono ramię robotyczne Cardinal.



Rysunek 4. Ramię robotyczne Cardinal

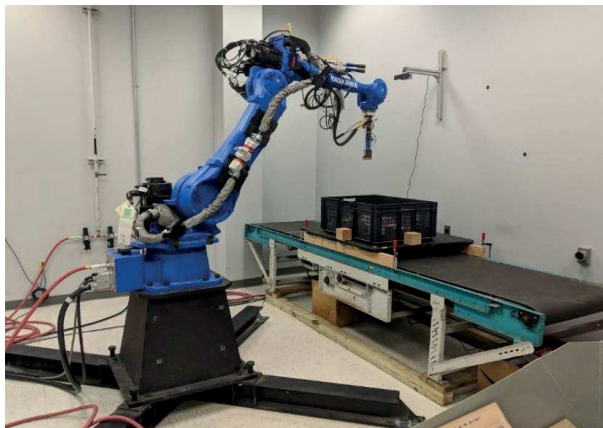
Figure 4. Cardinal robotic arm

Źródło: [PCMag 2023]

Source: [PCMag 2023]

Innym przykładem nowoczesnych technologii są roboty Plus One Robotics, które wykorzystują kamery 3D oraz algorytmy sztucznej inteligencji, co umożliwia im precyzyjne skanowanie paczek oraz odczytywanie ich oznaczeń, takich jak kody kreskowe czy tagi RFID [Plus One Robotics 2024a–c]. Dzięki tym rozwiązaniom system jest w stanie błyskawicznie przypisać każdą przesyłkę do odpowiedniego sektora magazynowego, eliminując konieczność ręcznego sortowania. Co więcej, roboty te mogą przetwarzać nawet 2500 paczek na godzinę przy dokładności na poziomie 99%, co znacząco zwiększa efektywność operacyjną [Plus One Robotics 2024a]. Dodatkowym atutem jest model *human in the loop*, który umożliwia operatorom zdalne nadzorowanie pracy robotów w sytuacjach nietypowych, co zwiększa efektywność i elastyczność całego systemu. Jest to szczególnie istotne w dynamicznie zmieniającym się środowisku magazynowym, gdzie paczki mogą mieć nieregularne kształty lub uszkodzone oznaczenia. Firmy, które

wdrożyły tego typu technologie, zauważają wzrost wydajności nawet o 30%, a redukcja kosztów operacyjnych może wynosić od 40 do 70% [Plus One Robotics 2024a]. Ramię robotyczne Plus One Robotics przedstawiono na rysunku 5.



Rysunek 5. Ramię robotyczne Plus One Robotics

Figure 5. Plus One Robotics robotic arm

Źródło: [Startups San Antonio 2018]

Source: [Startups San Antonio 2018]

Wyniki badania

W tej części artykułu przedstawione zostaną wyniki przeprowadzonego sondażu diagnostycznego, którego celem było zebranie informacji na temat skuteczności wdrażanych rozwiązań logistycznych w sektorze magazynowym oraz ich wpływu na rozwój e-commerce. Na podstawie uzyskanych danych dokonano analizy trendów i wyzwań, z jakimi mierzą się współczesne magazyny w kontekście rosnących wymagań rynku e-commerce. Badanie zostało przeprowadzone w formie anonimowej ankiety internetowej w okresie od 3 marca do 1 kwietnia 2025 roku. Kwestionariusz skierowano do przedstawicieli firm logistycznych oraz działów operacyjnych przedsiębiorstw z sektora e-commerce, w szczególności do osób zajmujących kierownicze stanowiska, odpowiedzialnych za zarządzanie magazynem, wdrażanie technologii oraz optymalizację łańcucha dostaw.

Wysłano łącznie 336 ankiet, a uzyskano 172 wypełnione formularze, co daje zwrotność na poziomie 51,19%. Taka wartość uznana została za zgodną z przyjętymi normami dla sondaży diagnostycznych i umożliwia sformułowanie reprezentatywnych wniosków. Respondenci zostali zrekrutowani za pomocą celowanego kontaktu mailowego oraz dystrybucji ankiety wśród członków grup branżowych i użytkowników forów internetowych. Zaproszenia do udziału w badaniu wystosowano m.in. poprzez:

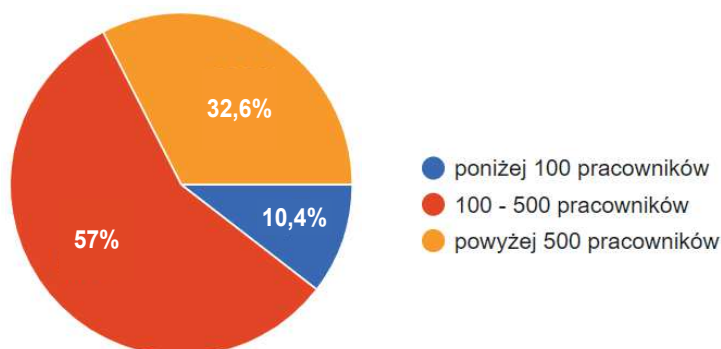
- bezpośredni kontakt e-mailowy z przedstawicielami firm logistycznych i e-commerce dzięki wykorzystaniu publicznych baz danych dot. przedsiębiorstw oraz sieci kontaktów branżowych (LinkedIn, portale branżowe),
- zamieszczenie sondażu diagnostycznego na stronach społeczności internetowych związanych z zarządzaniem logistyką i operacjami magazynowymi (np. na Facebooku),

- dystrybucję wśród uczestników konferencji branżowych, którzy wyrazili zgodę na kontakt w celach badawczych.

Dzięki temu udało się dotrzeć do osób rzeczywiście zaangażowanych w zarządzanie procesami logistycznymi i transformację cyfrową w magazynach. Taki sposób rekrutacji zapewnił trafność merytoryczną uzyskanych danych i wiarygodność przedstawionych analiz.

W badanej grupie największy udział (57%) miały przedsiębiorstwa zatrudniające od 100 do 500 pracowników (rys. 6). Drugą co do wielkości grupę, liczącą 32,6% respondentów, stanowiły podmioty gospodarcze mające powyżej 500 pracowników. Najmniejszy udział w badaniu (10,4%) miały przedsiębiorstwa zatrudniające poniżej 100 osób.

Najczęściej wskazywaną przez respondentów przyczyną wdrożenia w firmach nowoczesnych technologii (73,4% wszystkich odpowiedzi) była redukcja kosztów (rys. 7). Drugą najpopularniejszą odpowiedzią okazało się zwiększenie wydajności (64,2%). Skrócenie czasu dostawy było trzecim najczęściej wybieranym czynnikiem, wskazanym przez 59% respondentów.

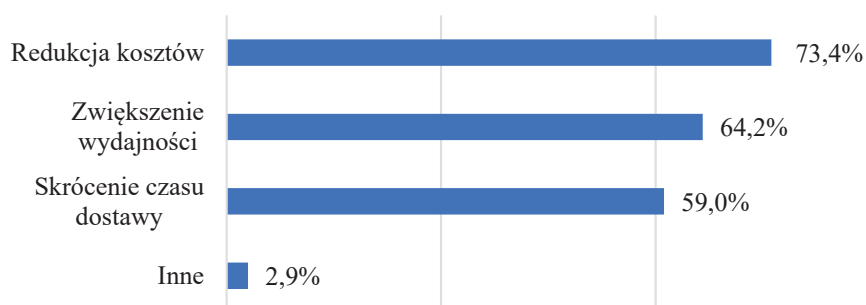


Rysunek 6. Wielkość badanych przedsiębiorstw

Figure 6. Size of the studied companies

Źródło: opracowanie własne

Source: own study



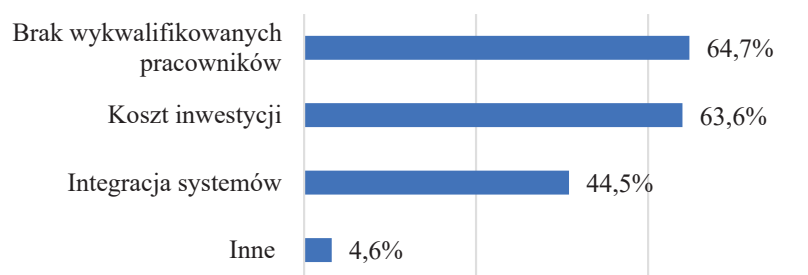
Rysunek 7. Główne przyczyny wdrożenia nowoczesnych technologii

Figure 7. Main reasons for implementing modern technologies

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

Natomiast głównym problemem wskazywanym przez respondentów (64,7% wszystkich odpowiedzi) był brak wykwalifikowanych pracowników (rys. 8). Drugim największym wyzwaniem okazał się koszt inwestycji (63,6% odpowiedzi). Integrację systemów wskazało 44,5% respondentów, co wskazuje, że niemal połowa ankietowanych miała do czynienia z problemami podczas próby skomunikowania różnych rozwiązań. Inne powody wybrało tylko 4,6% badanych.



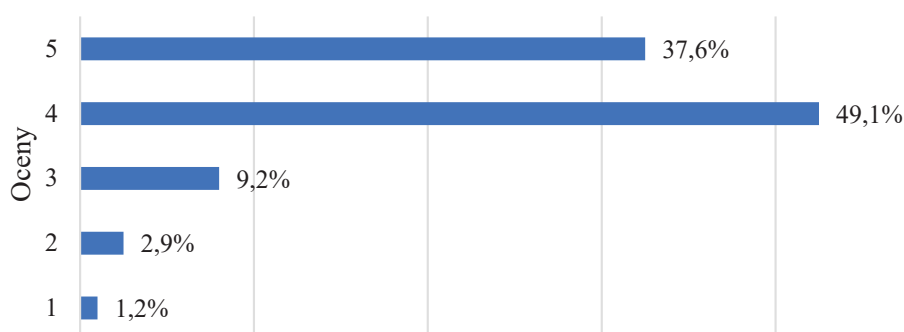
Rysunek 8. Główne problemy występujące podczas wdrażania nowoczesnych rozwiązań

Figure 8. Main problems when implementing modern solutions

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

Respondenci zostali poproszeni o ocenę wpływu rozwoju e-commerce na decyzje inwestycyjne dotyczące wdrażania nowoczesnych rozwiązań technologicznych w magazynach. W tym celu zastosowano pięciostopniową skalę ocen wzorowaną na skali Likerta, gdzie „1” oznacza brak wpływu, a „5” – wpływ bardzo wysoki. Najczęściej wskazywaną oceną było „4” (49,1%), co sugeruje, że większość firm postrzega e-commerce jako czynnik bardzo istotny, ale nie absolutnie kluczowy (rys. 9). Ocena „5” znalazła się na drugim miejscu z wynikiem 37,6%, co wskazuje,



Rysunek 9. Wpływ e-commerce na modernizację magazynu w skali 1–5

Figure 9. The impact of e-commerce on warehouse modernization on a scale of 1 to 5

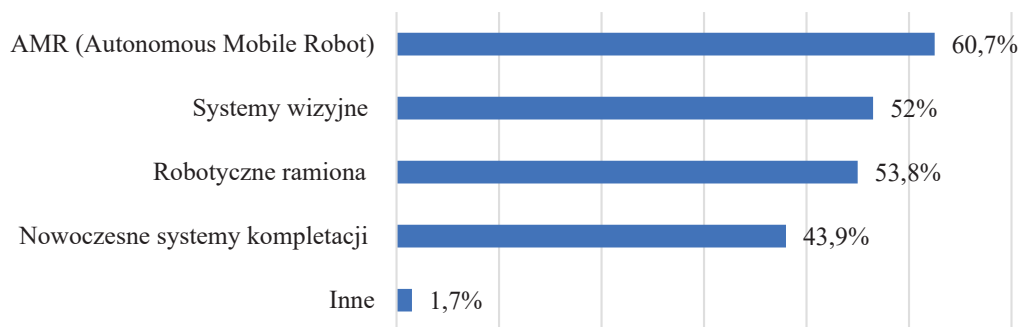
Źródło: opracowanie własne

Source: own study

że dla znacznej grupy respondentów e-commerce był głównym motorem napędowym inwestycji technologicznych. Ocena „3” (9,2%) świadczy o umiarkowanym wpływie w opinii niewielkiej części badanych, natomiast oceny „2” i „1” uzyskały odpowiednio 2,9 oraz 1,2% wskazań, co sugeruje, że tylko marginalna część podmiotów gospodarczych nie odczuwa wpływu e-commerce na tempo modernizacji infrastruktury magazynowej.

Do najpopularniejszych rozwiązań technologicznych w badanych przedsiębiorstwach zaliczono autonomiczne roboty mobilne – wybrało je 60,7% respondentów (rys. 10). Na tej podstawie można wnioskować, że przedsiębiorcy koncentrują się przede wszystkim na optymalizacji transportu wewnętrznego i usprawnieniu procesu kompletacji. Systemy wizyjne służące do identyfikacji kodów kreskowych uzyskały 53,8% odpowiedzi, a ramiona robotyczne wskazało 52% respondentów, co świadczy o rosnącym zainteresowaniu automatyzacją procesów kompletacji i pakowania towarów. Nowoczesne systemy kompletacji (np. *pick by light*, *pick by vision*) wspierające szybką i bezbłędną realizację zamówień uzyskały 43,9% wskazań, co czyni je najrzadziej stosowanymi rozwiązaniami technologicznymi. Tylko 1,7% respondentów wymieniło inne rozwiązania, co sugeruje, że główne kierunki automatyzacji i usprawnień pracy magazynów zostały poprawnie zdiagnozowane.

Na podstawie uzyskanych odpowiedzi stworzono poglądową mapę przedstawiającą rozmieszczenie analizowanych obiektów na terenie kraju (rys. 11). Może ona stanowić wstęp do analizy geograficznego rozkładu wdrożeń technologii oraz wskazywać regiony, w których modernizacja magazynów przebiega szczególnie intensywnie. Należy jednak zaznaczyć, że ze względu na ograniczoną liczebność próby wnioski te mają charakter orientacyjny i nie mogą być traktowane jako reprezentatywne dla całej powierzchni magazynowej w Polsce. Uzyskane wyniki pozostają jednak spójne z danymi zawartymi w dostępnych opracowaniach branżowych, co potwierdza trafność przyjętej metody badawczej. Stworzona mapa może być w przyszłości rozwijana o kolejne dane i stać się użytecznym narzędziem wspierającym analizy rynkowe oraz procesy decyzyjne w logistyce i planowaniu inwestycji.

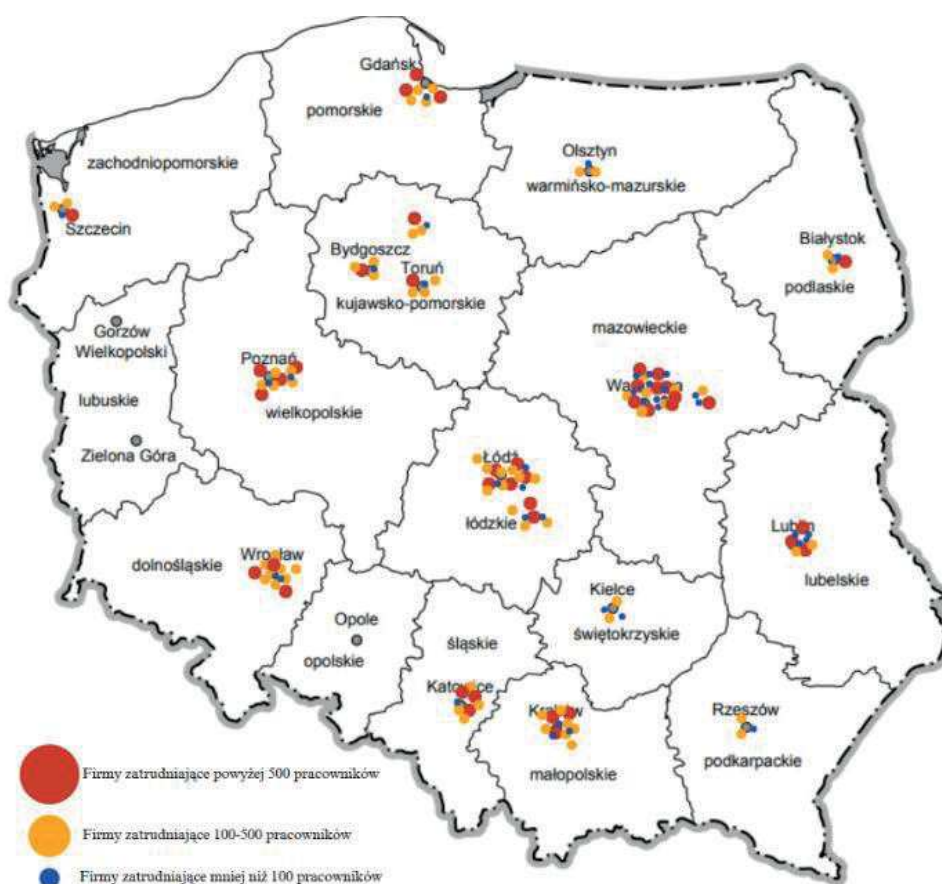


Rysunek 10. Nowoczesne technologie wprowadzone w magazynie

Figure 10. Modern technologies implemented in the warehouse

Źródło: opracowanie własne

Source: own study



Rysunek 11. Rozmieszczenie magazynów na podstawie odpowiedzi respondentów

Figure 11. Warehouse distribution according to respondents' answers

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

Dyskusja

Analizując uzyskane wyniki, można dostrzec wyraźne trendy w zakresie modernizacji magazynów i wdrażania nowoczesnych technologii. Przede wszystkim kluczowym czynnikiem wpływającym na decyzję o unowocześnianiu procesów logistycznych okazał się rozwój e-commerce. Większość respondentów wskazała, że handel internetowy ma duży lub bardzo duży wpływ na ich decyzje dotyczące modernizacji magazynów, co jednoznacznie pokazuje, że firmy dostosowują swoje procesy operacyjne do rosnących wymagań rynkowych, takich jak szybka realizacja zamówień, minimalizacja błędów oraz optymalizacja kosztów operacyjnych. Jednym z głównych powodów wdrażania nowoczesnych technologii w magazynach jest zwiększenie wydajności i redukcja kosztów, co potwierdzają odpowiedzi ankietowanych. Automatyzacja umożliwia szybsze realizowanie operacji logistycznych przy jednoczesnym ograniczeniu potrzeby angażowania siły roboczej, co w dłuższej perspektywie prowadzi do optymalizacji kosztów i większej stabilności operacyjnej. Jest to szczególnie istotne w obliczu problemów

z dostępnością pracowników magazynowych, stanowiących jedno z wyzwań branży. Jednak oprócz korzyści wynikających z wdrażania innowacyjnych technologii uczestnicy badania wskazali również na istotne wyzwania związane z tym procesem. Najczęściej wymienianą przeszkodą jest wysoki koszt inwestycji, co sugeruje, że nie wszystkie przedsiębiorstwa są gotowe na pełną transformację swoich magazynów. Dodatkowym utrudnieniem jest brak odpowiednio wykwalifikowanych pracowników, którzy mogliby obsługiwać zaawansowane systemy magazynowe. Integracja nowych technologii z istniejącymi systemami również stanowi wyzwanie, co wskazuje na konieczność stosowania bardziej elastycznych rozwiązań umożliwiających sprawniejsze wdrażanie automatyzacji. W kontekście rozwiązań technologicznych, które będą w najbliższych latach kluczowe dla zwiększenia efektywności magazynów, największą popularnością cieszą się autonomiczne roboty mobilne (AMR) – w swoich magazynach ma je aż 60,7% badanych firm. Pokazuje to, że robotyzacja procesów logistycznych jest uznawana za rozwiązanie przyszłościowe, umożliwiające poprawę wydajności magazynów. Równie istotną rolę odgrywają ramiona robotyczne, które wspierają operacje związane z kompletacją i pakowaniem towarów. Mniejszym, ale nadal istotnym zainteresowaniem cieszą się technologie wspierające kompletację zamówień, takie jak *pick by light* i *pick by vision*. Sugeruje to, że choć wspomniane rozwiązania znacząco usprawniają procesy operacyjne, przedsiębiorstwa w większym stopniu koncentrują się na dążeniu do pełnej automatyzacji, priorytetowo traktując zastąpienie pracy ludzkiej systemami robotycznymi w celu zwiększenia efektywności, redukcji kosztów operacyjnych oraz minimalizacji błędów.

Analiza mapy sporządzonej na podstawie danych pozyskanych w trakcie badania umożliwia ocenę rozmieszczenia magazynów w Polsce. Ilustruje ona lokalizację magazynów z podziałem na wielkość zatrudnienia, co pozwala na identyfikację nowoczesnych ośrodków technologii magazynowych. Największe centra magazynowe, oznaczone symbolem koloru czerwonego, to firmy zatrudniające ponad 500 pracowników. Można je zauważyć przede wszystkim w rejonach Warszawy, Łodzi, Poznania, Wrocławia i Gdańska, co sugeruje, że największe obiekty logistyczne są zlokalizowane w bliskim sąsiedztwie kluczowych ośrodków gospodarczych i autostrad. Symbolem pomarańczowym oznaczone zostały magazyny średniej wielkości, zatrudniające od 100 do 500 pracowników. Choć występują w wielu regionach kraju, wykazują tendencję do skupiania się wokół większych miast. Ich obecność w mniejszych ośrodkach może wskazywać na rosnące znaczenie logistyki w mniej zurbanizowanych obszarach oraz na decentralizację infrastruktury magazynowej. Magazyny zatrudniające mniej niż 100 pracowników oznaczono kolorem niebieskim. Rozmieszczone są bardziej równomiernie, co sugeruje istnienie małych centrów dystrybucyjnych obsługujących lokalne rynki. W obiektach tych nowoczesne technologie są wdrażane w ograniczonym zakresie, co może wynikać z mniejszych zasobów finansowych oraz potrzeb operacyjnych. Dodatkowo wielkość każdego symbolu odzwierciedla rozmiar danego magazynu – duży wskazuje na większą skalę działalności logistycznej w danej lokalizacji. Umożliwia to nie tylko identyfikację punktów dystrybucyjnych, lecz także ocenę ich znaczenia w krajowym systemie logistycznym. Mapa zawiera również obszary, w których nie zaznaczono występowania magazynów. Może to być spowodowane zarówno brakiem

większych obiektów logistycznych, jak i małą liczbą odpowiedzi ze strony respondentów reprezentujących te regiony. Pozyskane dane mogą zatem nie odzwierciedlać w pełni rzeczywistego rozmieszczenia obiektów logistycznych w Polsce. Niemniej jednak lokalizacje magazynów zaprezentowane na mapie stworzonej na podstawie odpowiedzi respondentów uważa się za zgodne z danymi zamieszczonymi w raporcie Banku Ochrony Środowiska [BOŚ 2025].

Podsumowując, wyniki sondażu diagnostycznego jednoznacznie wskazują na istotną rolę e-commerce we wprowadzaniu do magazynów nowoczesnych rozwiązań. Respondenci podkreślali, że dynamiczny rozwój handlu internetowego wymusza stosowanie coraz bardziej zaawansowanych systemów zarządzania i automatyzacji procesów magazynowych, co pozwala na szybszą i bardziej efektywną realizację zamówień. Zauważono również kluczową rolę największych aglomeracji miejskich w krajowej logistyce oraz podkreślono rosnące znaczenie nowoczesnych technologii magazynowych, szczególnie w dużych centrach dystrybucyjnych.

Podsumowanie i wnioski

Nieoczekiwany czynnikiem, który znacząco wpłynął na rozwój technologii magazynowych, była pandemia wirusa SARS-CoV-2. Wprowadzone w związku z nią restrykcje spowodowały gwałtowny wzrost liczby zamówień internetowych. Sytuacja ta w połączeniu z ograniczonym dostępem do siły roboczej wymusiła na firmach przyspieszoną modernizację magazynów i wdrożenie zaawansowanych systemów automatyzacji. Rozwój sektora e-commerce, który w krótkim czasie osiągnął niespotykaną wcześniej skalę, przyczynił się do intensyfikacji działań mających na celu optymalizację procesów logistycznych. Firmy zmuszone były do wdrażania nowych technologii, takich jak autonomiczne roboty mobilne (AMR), systemy wizyjne do identyfikacji paczek czy ramiona robotyczne wspomagające kompletację i pakowanie, aby sprostać większemu zapotrzebowaniu i zapewnić płynność operacji. Wzrost liczby zamówień online oraz rosnące oczekiwania konsumentów dotyczące szybkości dostaw stworzyły nowe wyzwania dla branży logistycznej, wymagające wdrożenia bardziej zaawansowanych rozwiązań technologicznych. Firmy napotykają jednak istotne trudności, takie jak wysokie koszty inwestycyjne, brak wykwalifikowanej kadry oraz wyzwania związane z integracją nowych systemów z istniejącą infrastrukturą magazynową.

Nowoczesne rozwiązania technologiczne dla sektora magazynowego przedstawione w literaturze zostały poprawnie zidentyfikowane, ponieważ znalazły odzwierciedlenie w rzeczywistych działaniach firm, które konsekwentnie wdrażają je w swoich magazynach. Przegląd literatury i raportów branżowych oraz wyniki badania ankietowego pozwalają sformułować następujące wnioski:

1. Nieoczekiwane wyzwania, takie jak pandemia COVID-19 oraz zmiany w zachowaniach konsumentów, wpłynęły na transformację procesów logistycznych i zwiększyły zapotrzebowanie na usługi e-commerce.
2. Gwałtowny rozwój e-commerce wymusił na magazynach i centrach dystrybucyjnych zmianę dotychczasowego profilu działalności i dostosowanie się do potrzeb klienta indywidualnego.

3. Automatyzacja procesów stała się kluczowym elementem strategii logistycznych, umożliwiając szybszą realizację zamówień i optymalizację kosztów oraz dostosowanie do rosnących wymagań rynkowych.
4. Automatyzacja procesów magazynowych jest nieuniknionym etapem rozwoju sektora logistycznego.
5. Mimo napotykaných trudności długofalowe korzyści płynące z wdrożenia innowacyjnych rozwiązań sprawiają, że przedsiębiorstwa coraz chętniej inwestują w nowoczesne technologie, dostosowując się do dynamicznych zmian rynkowych.
6. Największe centra magazynowe w Polsce, w których zastosowano nowoczesne technologie, koncentrują się wokół kluczowych ośrodków gospodarczych i infrastrukturalnych, natomiast mniejsze obiekty dystrybucyjne są rozmieszczone bardziej równomiernie, obsługując lokalne rynki.

Bibliografia

- Aboutamazon, 2023: Amazon announces 2 new ways it's using robots to assist employees and deliver for customers, <https://www.aboutamazon.com/news/operations/amazon-introduces-new-robotics-solutions> [dostęp: 25.02.2025].
- Aboutamazon, 2024a: Amazon i MIT badają wpływ automatyzacji na miejsca pracy, <https://www.aboutamazon.pl/wiadomosci/praca-w-amazon/amazon-i-mit-badaja-wplyw-automatyzacji-na-miejsca-pracy> [dostęp: 26.02.2025].
- Aboutamazon, 2024b: Meet the 8 robots powering your Amazon package deliveries, <https://www.aboutamazon.com/news/operations/amazon-robotics-robots-fulfillment-center> [dostęp: 25.02.2025].
- AI Business, 2020: Jak pandemia wpływa na rynek robotów autonomicznych, <https://aibusiness.pl/jak-pandemia-koronawirusa-wplywa-na-rynek-robotow-autonomicznych/> [dostęp: 27.02.2025].
- AllAboutLean.com, 2025: Amazon Kiva Storage Strategies, <https://www.allaboutlean.com/amazon-kiva-storage-strategies/> [dostęp: 07.03.2025].
- Automation Media, 2019: Augmented Reality, Artificial Intelligence, and Smart Glasses, <https://www.automationmedia.com/ARDetail.asp?ID=177> [dostęp: 07.03.2025].
- Bao J., 2025: Supply Chain Automation and Collaboration for Enhanced Efficiency in E-Commerce Logistics: Challenges, Applications, and Strategic Insights, *Future Management Studies* 3(1), 1–15.
- BOŚ Bank, 2025: Raport branżowy – nieruchomości magazynowe (PKD 68), https://www.bosbank.pl/_data/assets/pdf_file/0028/61579/BOSBank_Magazyny_2025.02.pdf [dostęp: 24.02.2025].
- Cornell University, 2023: The Multi-Trip Autonomous Mobile Robot Scheduling Problem with Time Windows in a Stochastic Environment at Smart Hospitals, <https://arxiv.org/abs/2307.16215> [dostęp: 27.02.2025].
- Drury J., 1988: Towards More Efficient Order Picking, IMM Monograph No. 1, The Institute of Materials Management, Cranfield, UK.
- Iron VR & Carbon Studio, 2022: Wirtualna i rozszerzona rzeczywistość. Raport o stanie rynku, <https://www.carbonstudio.pl/wp-content/uploads/2022/08/Wirtualna-i-Rozszerzona-Rzeczywistosc.-Raport-o-stanie-Rynku-Iron-VR-Carbon-Studio-Sierpień-2022-1.pdf> [dostęp: 03.03.2025].

- Luca Logistic Solutions, 2022a: Pick-by-Light. Kompletacja zamówień, <https://www.luca.eu/pl/pick-by-light/kommissionierung/> [dostęp: 01.03.2025].
- Luca Logistic Solutions, 2022b: Pick-to-Light Order picking, <https://www.luca.eu/en/pick-to-light/picking/> [dostęp: 01.03.2025].
- PCMag, 2023: Amazon's latest warehouse robot can sort millions of items, <https://au.pcmag.com/news/97266/amazons-latest-warehouse-robot-can-sort-millions-of-items> [dostęp: 10.03.2025].
- Plus One Robotics, 2024a: Automated Induction, <https://www.plusonerobotics.com/automated-parcel-induction> [dostęp: 03.03.2025].
- Plus One Robotics, 2024b: Parcel & Post. Automated Parcel Solutions & Systems, <https://www.plusonerobotics.com/parcel-post> [dostęp: 03.03.2025].
- Plus One Robotics, 2024c: PickOne, <https://www.plusonerobotics.com/pick-one> [dostęp: 03.03.2025].
- Russell K., Mahn La H., 2024: Review of Autonomous Mobile Robots for the Warehouse Environment, <https://arxiv.org/html/2406.08333v1> [dostęp: 03.03.2025].
- Sempire, 2021: E-commerce w Polsce, <https://www.sempire.pl/e-commerce-w-polsce.html> [dostęp: 07.03.2025].
- Serwis RP, 2020: E-commerce w czasie pandemii Covid-19, <https://www.gov.pl/web/oecd/e-commerce-w-czasie-pandemii-covid-19> [dostęp: 28.02.2025].
- SOAX, 2025: E-commerce growth: How much has e-commerce grown over the years?, <https://soax.com/research/growth-ecommerce> [dostęp: 02.04.2025].
- Sobczak P., 2014: Analiza efektywności systemu Pick by light, *Logistyka* 4, 1214–1221.
- Startups San Antonio, 2018: San Antonio Startup Plus One Robotics raises 8.3m dollars, <https://www.startupssanantonio.com/plus-one-robotics-raises-8-3m/> [dostęp: 03.03.2025].
- Wasielewski J., 2020: Zakupy online w Polsce 2020, <https://www.expertsender.pl/blog/zakupy-online-w-polsce-2020-raport-expertsender> [dostęp: 07.03.2025].
- Windhausen A., Heller J., Hilken T., Mahr D., Di Palma R., Quintens L., 2024: Exploring the impact of augmented reality smart glasses on worker well-being in warehouse order picking, *Computers in Human Behavior* 155, 108153, <https://doi.org/10.1016/j.chb.2024.108153>