

Nowoczesne technologie i rozwiązania usprawniające logistykę ostatniej mili w e-commerce

Michał Guzowski

Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania

e-mail: 88338@student.pb.edu.pl

Danuta Szpilko 

Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania

e-mail: d.szpilko@pb.edu.pl

DOI: 10.24427/az-2025-0029

Streszczenie

Nowoczesne technologie i rozwiązania, które usprawniają logistykę ostatniej mili w e-commerce są niezbędne dla funkcjonowania przedsiębiorstw z branży KEP. W logistyce ostatniej mili istnieje szereg problemów, które wymagają zastosowania innowacyjnych rozwiązań. Na ostatnim odcinku dostawy występują problemy takie jak wysokie koszty, opóźnienia, zanieczyszczenia powietrza, podczas gdy klienci oczekują coraz to szybszej i elastycznej dostawy. Odpowiedzią na te problemy są rozwiązania z wykorzystaniem nowoczesnych technologii. Celem artykułu jest identyfikacja technologii usprawniających logistykę ostatniej mili w branży e-commerce uwzględniających aspekty zrównoważonego rozwoju. W artykule przedstawiono wykorzystanie sztucznej inteligencji do optymalizacji tras, wykorzystanie dronów i robotów dostawczych, automatów paczkowych, aplikacji mobilnych i pojazdów elektrycznych. Uwzględniono rozwiązania wdrożone przez takie firmy jak InPost, Allegro, UPS, DHL, Amazon i Starship Technologies. Zaprezentowano jak technologie poprawiają stan zanieczyszczenia powietrza oraz w jaki sposób przedsiębiorstwa z tych rozwiązań korzystają i jak wpływa to na środowisko naturalne. Analizie poddano również zalety i wady wskazując na koszty, problemy prawne i kwestie akceptacji społecznej.

Słowa kluczowe

ostatnia mila, e-commerce, paczkomat, sztuczna inteligencja, dron

Wstęp

Logistyka ostatniej mili (ang. last-mile delivery – LMD) odgrywa kluczową rolę w finalnym etapie łańcucha dostaw w relacji sprzedawca-konsument. W dobie globalizacji i wzrostu konsumpcji, logistyka jest nieodzownym elementem funkcjonowania gospodarki i przepływu dóbr konsumenckich. Sektorem gospodarki, którego popularność w czasie lockdownu znacząco wzrosła, jest rynek e-commerce. Preferencje konsumentów zmieniły się, a wraz z nimi zmianie uległo zapotrzebowanie. Odpowiedzią był wzrost ilości sklepów internetowych, które dostarczając produkty do klientów uczestniczą w łańcuchu dostaw, w którym występują pewne przeszkody [Znosko-Czarnecki, 2022, s. 109]. W obecnych czasach, problemy logistyki ostatniej mili są związane z czasem dostawy, kosztami ostatniego odcinka dostaw, optymalizacją procesów kurierskich i wpływem na środowisko naturalne. Etapem łańcucha dostaw, który jest najtrudniejszy do optymalizacji, jest etap zwany “ostatnią milą”. Jest to końcowy odcinek dystrybucji między centrum dystrybucji a indywidualnym konsumentem [Szelaąg, 2024, s. 691]. Znaczący ślad węglowy dostaw ostatniej mili, które odpowiadają za 40% wszystkich emisji związanych z handlem elektronicznym, wynika częściowo z tradycyjnych metod dostawy [Różycki i Gral, 2024, s. 4]. Wraz z postępem czasu, wprowadzono wiele rozwiązań, które znacząco usprawniły procesy logistyczne. Obecnie istnieje wiele rozwiązań z użyciem nowoczesnych technologii takich jak sztuczna inteligencja (ang. artificial intelligence – AI), drony dostawcze, nowe rozwiązania w infrastrukturze punktowej nazywane paczkomatami. Dodatkowo, firmy kurierskie inwestują w modernizację ich flot i korzystają z flot pojazdów elektrycznych (ang. electric vehicles – EV).

Celem artykułu jest identyfikacja technologii usprawniających logistykę ostatniej mili w branży e-commerce uwzględniających aspekty zrównoważonego rozwoju. W początkowej sekcji artykułu przedstawiono problemy z którymi zmagają się branża e-commerce w kontekście ostatniej mili. Następnie przedstawiono innowacyjne rozwiązania, zaś w dalszej kolejności przykłady zastosowania wybranych rozwiązań przez przedsiębiorstwa z branży KEP. Ostatnia sekcja obejmuje zaś przedstawienie zalet i wad wymienionych rozwiązań. Analiz dokonano na podstawie przeglądu literatury naukowej: artykułów, książek, raportów oraz stron internetowych przedsiębiorstw.

1. Wyzwania związane z logistyką ostatniej mili na rynku e-commerce

Handel elektroniczny (ang. e-commerce) na przestrzeni ostatnich lat przestał być rozpatrywany w kategoriach dodatku dla sklepów. Wiele firm odeszło już od tradycyjnego formatu sklepów stacjonarnych [Szela, 2024, s. 693]. E-commerce stało się również rozwiązaniem pozwalającym przetrwać liderom rynkowym, którzy mogli utrzymać sprzedaż na poziomie umożliwiającym funkcjonowanie podczas pandemii COVID-19. Wraz z tendencją rozwojową trendu sklepów internetowych nastąpił wzrost zapotrzebowania na usługi związane z logistyką ostatniej mili. Pełni ona kluczową funkcję w procesie zakupowym pomiędzy konsumentem a sprzedającym [Znosko-Czarnecki, 2022, s. 109]. Logistyka ostatniej mili jest ściśle powiązana z handlem elektronicznym. Jest najbardziej problematycznym momentem w kontekście całego procesu dystrybucji. Można ją zdefiniować jako zespół powiązanych czynności organizacyjnych ze sfery transportu i logistyki, dotyczący realizacji dostaw na ostatnim odcinku drogi, a dokładnie doręczania przesyłek z centrów dystrybucji (hubów, magazynów), sklepów bądź innych punktów usługowych do miejsc lokalizacji klientów – odbiorców końcowych lub miejsc przekazania wskazanych przez nich, takich jak paczkomat – automat paczkowy, punkt odbioru – pick up point (np. sklep spożywczy, księgarnia, kwiaciarnia albo kiosk), z których to oni sami odbiorą już daną przesyłkę [Brach i Pawłowska, 2020, s. 33]. Logistyka ostatniej mili jest więc ostatnim etapem dostawy do punktu dostawy preferowanego przez klienta finalnego [Cichosz, 2020, s. 417].

W przeszłości dostawy były realizowane głównie w trybie B2B (business-to-business). Producenci wysyłali swoje towary do większych centrów dystrybucyjnych. Następnie towary te były wysyłane do dużych sklepów detalicznych, gdzie nabywcy finalni mogli je zakupić. Nowa struktura dostawy, która szybko rozwinęła się w dobie e-commerce, zwana jest business-to-customer (B2C). W tym modelu pomijany jest sklep detaliczny, a produkty są wysyłane bezpośrednio do klienta. W związku z tym coraz częściej powstają zakłócenia spowodowane nowymi modelami biznesowymi, które odpowiadają na zapotrzebowanie klientów na coraz szybsze dostawy [Boichuk 2022, s. 125].

Głównym problemem logistyki ostatniej mili są koszty. Ostatnia mila to najbardziej kosztowny odcinek łańcucha dostaw, stwarzający sporo niedogodności dla kupujących, sprzedających, przewoźnych oraz mieszkańców miast. Z szacunków instytutu badawczego Transport Intelligence wynika, że w 2021 roku aż 53% kosztów logistycznych po stronie sprzedawców było generowanych właśnie na ostatniej mili, pozostałe 47% dotyczyło innych etapów realizacji zamówień [Majowicz i in., 2022, s. 6]. Ostatnia mila stanowi około 30-50% wszystkich kosztów łańcucha dostaw dla

paczek B2C i co bardzo istotne, jest kluczowym elementem łańcucha węglowego powstającego w łańcuchu dystrybucyjnym w e-commerce [Majowicz i in., 2022, s. 8]. Koszty te wynikają z konieczności realizacji dostaw do indywidualnych klientów, często w krótkim czasie i na dużym obszarze geograficznym. Dodatkowo, nieudane próby doręczenia, zwroty oraz konieczność obsługi reklamacji generują dodatkowe wydatki. Przedsiębiorstwa starają się minimalizować te koszty poprzez konsolidację przesyłek, optymalizację tras dostaw oraz inwestycje w nowoczesne technologie, jednak nadal stanowią one znaczące obciążenie finansowe. Chociaż w całym łańcuchu przemieszczania ten ostatni odcinek bywa najkrótszy, to z powodu skali związanych z nim wyzwań i problemów często okazuje się najdroższy i najtrudniejszy w realnym wykonaniu [Brach i Pawłowska, 2020, s. 33].

Kolejnym wyzwaniem związanym z logistyką ostatniej mili na rynku e-commerce jest silna urbanizacja i problemy transportowe miast. Dynamiczny rozwój motoryzacji indywidualnej (samochody i jednoślady motorowe) przy niedostatecznej podaży infrastruktury transportowej skutkuje powstaniem kongestii. Przyczynia się ona zwłaszcza do istotnego wydłużenia czasu dostawy, co przekłada się na zmniejszoną efektywność transportu i jego wyższe koszty. Powoduje także zwiększenie emisji różnorodnych polutantów na czele z cząstkami stałymi, tlenkami azotu i benzo(a)pirenem. Stare pojazdy spalinowe, wyposażone w silniki diesla, wytwarzają znaczne ilości zanieczyszczeń, a hałas, który jest emitowany, często przekracza 60 dB w dzień i 55 dB w nocy [Zapałowska, 2022, s. 79]. Zanieczyszczenie powietrza, do czego w znacznej mierze przyczynia się transport, sprawia, że w miastach każdego roku umiera przedwcześnie kilka milionów osób [Grabański i in., 2019, s. 425]. Przedsiębiorstwa logistyczne muszą się dostosować do regulacji prawnych by móc świadczyć usługi na terenach miast z Strefami Czystego Transportu [Bulanda i Dziedzic, 2024, s. 42]. Komisja Europejska w roku 2022 przedstawiła również projekt Fit for 55, w którym oczekiwania od branży motoryzacyjnej obejmują redukcję emisji CO₂ przez produkowane nowe samochody osobowe o 55%, a dostawcze o 50% do 2030 roku. W tym projekcie również do 2035 roku, wszystkie nowo rejestrowane samochody mają mieć zerową emisję czyli spełniać 100% redukcji CO₂ [Faryś, 2022, s. 65]. Społeczeństwo oczekuje jednocześnie zwiększenia komfortu życia. W szczególności dotyczy to zmniejszenia zanieczyszczenia powietrza w obszarach silnie zurbanizowanych, niskiego bądź zerowego kosztu dostawy, skrócenia czasu dostawy i obniżenia generowanego hałasu przez środki transportu [Grabański i in., 2019, s. 424]. Z kolei natężenie ruchu, w tym spowodowanego samochodami dostarczającymi przesyłki, negatywnie wpływa na komfort życia mieszkańców miast oraz stan środowiska. Dlatego też firmy kurierskie poszukują bardziej proekologicznych rozwiązań, którymi między innymi są niskoemisyjne oraz nie

emitujące hałasu pojazdy dostawcze o napędzie elektrycznym [Boichuk, 2022, s. 124].

Poważnym problemem, z którym boryka się branża e-commerce w kontekście logistyki ostatniej mili jest niezawodność i czas dostawy. Te czynniki są determinowane przez odpowiednią sieć operacyjną oraz dobór właściwych metod dostawy. Wpływa to na jakość obsługi klienta i konkurencyjność przedsiębiorstw logistycznych [Smyk, 2017, s. 1529]. Z jednej strony e-klienci (np. przyzwyczajeni przez Amazon.com do coraz wyższych standardów obsługi) oczekują ciągłego skracania czasu dostawy (tj. do dwóch dni roboczych, tego samego dnia czy w końcu do dwóch godzin), a z drugiej chcą, aby dostarczanie produktu było coraz tańsze [Cichosz, 2020, s. 418]. Pomiędzy aktem kupna, a aktem konsumpcji pojawia się istotna luka czasowo-przestrzenna, która wymagała stworzenia odpowiednio sprawnego systemu logistycznego skracającego ją do minimum i gwarantującego pewność dostarczenia zakupionego towaru w niezmienionym stanie i w akceptowalnym czasie [Szelaąg, 2024, s. 694]. Odpowiedzią na ten problem jest posłużenie się przez sklepy internetowe z usług zewnętrznymi przewoźnikami, aby zapewnić dostawę tego samego dnia. Niestety wiąże się to z ponoszeniem większych kosztów dla sprzedającego bądź kupującego [Boichuk, 2022 s. 124-125].

Konsumenci oczekują następujących opcji dostawy [Majowicz i in., 2022, s. 10]:

- tego samego dnia – a nawet w ciągu godziny lub dwóch;
- dostawy pod wskazany adres w konkretnych przedziałach czasowych – nawet z dokładnością do 15 minut;
- alternatywnego miejsca dostawy (OOH) czyli punktów PUDO oraz automatów paczkowych;
- pozostawienia w bezpiecznym miejscu – u sąsiada, w recepcji, w umówionym miejscu, na posesji odbiorcy;
- przekierowania w trakcie realizacji usługi transportowej lub zmiany przedziałów czasowych;
- konsolidacji wielu przesyłek.

Można stwierdzić, że klienci są wymagający, a problemy takie jak koszty, zanieczyszczenia, niezawodność i czas dostawy, napięte okna czasowe oraz silna urbanizacja, wymagają innowacyjnych rozwiązań z wykorzystaniem nowoczesnych technologii. Jest to ważne, ponieważ problemy te dotyczą wszystkich osób zamieszkujących w miastach i pośrednio mogą wpływać na jakość życia, zdrowie ludzi czy funkcjonalność przedsiębiorstw świadczących usługi logistyczne.

2. Nowoczesne technologie i rozwiązania w logistyce ostatniej mili

Do zarządzania łańcuchem dostaw wykorzystuje się różne narzędzia i technologie, takie jak sztuczna inteligencja, które mogą przyczynić się do osiągnięcia znacznych korzyści, jeśli chodzi o rozwój innowacyjności przedsiębiorstw. Po raz pierwszy termin sztuczna inteligencja został zaproponowany i zdefiniowany w 1955 roku przez Johna McCarthy'ego. Jest to dział informatyki zajmujący się konstruowaniem maszyn i algorytmów, których działanie posiada znamiona inteligencji. Oznacza to zdolność do samorzutnego przystosowywania się do zmiennych warunków, podejmowania skomplikowanych decyzji, uczenia się, rozumowania abstrakcyjnego [Topczewska i Krupa, 2022, s. 46]. AI może funkcjonować jako sprzęt i/lub oprogramowanie w systemie reprezentującym ludzką inteligencję. Sztuczna inteligencja wpływa nie tylko na rozwój i praktyczne wdrożenie nowych rozwiązań, ale także na rozwój wiedzy i umiejętności pracowników poprzez ich udział w szkoleniach, który jest niezbędny do wykonywania zadań i obowiązków służbowych [Pawlicka i Bał, 2021, s. 28-29; Szpilko i in., 2023]. Technologie sztucznej inteligencji (AI) i uczenia maszynowego (ML) stają się kluczowymi elementami transformacji w branży logistycznej, oferując potencjał rewolucji w zarządzaniu łańcuchem dostaw. Implementacja AI i ML w logistyce ostatniej mili gwarantuje nie tylko zwiększenie efektywności operacyjnej, ale także poprawę jakości obsługi klienta oraz redukcję kosztów. Dzięki zaawansowanym algorytmom i analizie dużych zbiorów danych, technologie te pozwalają na prognozowanie popytu, optymalizację procesów oraz personalizację usług [Kozłowska, 2024, s. 104].

Obecnie coraz częściej wykorzystywana jest w logistyce sztuczna inteligencja umożliwiając automatyzację i optymalizację procesów i działań związanych z zarządzaniem łańcuchem dostaw. Przykładowe zastosowania sztucznej inteligencji w logistyce ostatniej mili to [Mroczko, 2023, s. 53; Credit Agricole, 2024, s. 3]:

- optymalizacja tras transportowych i minimalizacja kosztów transportu, przy uwzględnieniu różnych czynników, takie jak liczba zamówień, odległość, koszty paliwa, wzorce ruchu drogowego, dane historyczne i aktualne;
- analiza dużych ilości danych logistycznych, która pozwala na identyfikację trendów i wzorców, dzięki czemu można podejmować lepsze decyzje biznesowe;
- monitorowanie tras w czasie rzeczywistym, umożliwiające szybką reakcję w przypadku wystąpienia jakichkolwiek problemów;
- kontrola kosztów i planowanie przeglądów technicznych pojazdów na podstawie raportowania zużycia paliwa;

- spersonalizowanie obsługi klienta, co pozwala na zwiększenie satysfakcji klientów i poprawę wizerunku firmy.

Możliwym rozwiązaniem w przypadku wysokiej urbanizacji i problemów transportowych miast jest zastosowanie technologii dronów dostawczych. Drony, inaczej bezzałogowe statki powietrzne (unmanned aerial vehicle – UAV) lub bezzałogowe systemy powietrzne (unmanned aerial systems – UAS), to latające roboty, które pilotowane zdalnie lub zaprogramowane wykonują lot autonomicznie [Cichosz, 2020, s. 419; Budna i in., 2025]. Przeprowadzono wiele badań i testów dotyczących ich funkcjonalności i rentowności w użyciu. Przełom w badaniach wykorzystania dronów w logistyce ostatniej mili nastąpił w 2013 r., gdy Amazon.com ogłosił program Amazon Prime Air i zapowiedział, że wkrótce dzięki tym urządzeniom będzie w stanie dostarczyć klientom przesyłki o masie do ok. 2,5 kg w promieniu 16 km w ciągu 30 minut lub krócej [Cichosz, 2020, s. 421]. Drony uznawane są za środek transportu wpisujący się we współczesne trendy: transport przyjazny środowisku, transport niezależny od podaży ropy naftowej (oil free transportation) oraz transport e-mobilny. Szczególnie widoczne jest to w ramach dostawy ostatniej mili, która w dużym stopniu realizowana jest w logistyce miejskiej [Orłowska i Orłowski, 2024, s. 73]. Wybór odpowiedniego sposobu dostawy przesyłek dronami zależy od specyfiki ładunku, lokalnych uwarunkowań oraz wymagań odbiorcy. Istnieje kilka metod dostarczania przesyłek za pomocą dronów dostawczych [Kornatowski, 2024, s. 62, 63]:

- standardowe lądowanie drona (dostawa pod same drzwi) – dron dostarcza przesyłkę na ustalone miejsce przed budynkiem lub na specjalnie wyznaczoną platformę;
- lądowanie do rąk odbiorcy (np. na balkonie lub przy oknie) – ta metoda pozwala na dostarczenie przesyłki bezpośrednio do rąk odbiorcy stojącego na balkonie lub przy oknie, co jest szczególnie przydatne w trudno dostępnych miejscach, gdzie nie ma odpowiedniego miejsca do lądowania;
- lądowanie na stacji dokującej zainstalowanej przy oknie – w tej metodzie dron dostarcza paczkę na specjalną stację dokującą, zamontowaną przy oknie odbiorcy. Takie rozwiązanie eliminuje konieczność wychodzenia z budynku, zapewniając stabilne i bezpieczne miejsce lądowania, zintegrowane z infrastrukturą;
- dostawa za pomocą spadochronu – paczka jest zrzucona na ziemię za pomocą spadochronu, co stanowi idealne rozwiązanie na otwartych terenach, gdzie brakuje niezbędnej infrastruktury, takiej jak miejsce do lądowania;

- spuszczenie paczki na linie – w tej metodzie dron opuszcza paczkę na linie, co stanowi bezpieczne rozwiązanie w przypadku dostawy paczek, gdy dron nie może bezpiecznie wylądować;
- pozostawienie paczki w stacji logistycznej – dron pozostawia paczkę w specjalnej stacji logistycznej, która zapewnia jej ochronę do czasu jej odbioru przez odbiorcę.

Dużą popularność w Polsce w ostatnich latach zyskało rozwiązanie polegające na użyciu paczkomatów czyli automatów paczkowych, oraz punktów odbioru – pick up point, z których klienci sami odbierają daną przesyłkę w odpowiedniej dla nich porze, czy godzinie. Co więcej, może to być zarówno specjalnie dedykowany pickup drop off point (PUDO) prowadzony przez/na rzecz danego operatora, jak i sklep spożywczy, księgarnia, kwaciarnia albo kiosk. Punkt odbioru został tak opracowany, że nie musi być już punktem przebywania/zamieszkiwania, lecz może być – dla operatora (z jego perspektywy) – przewoźnika punktem ostatecznym, ale dla odbiorcy jedynie punktem pośrednim [Brząkała, 2023, s. 30]. Podczas pandemii COVID-19, w 2020 roku kiedy nastąpił gwałtowny wzrost zamówień on-line, pojawił się ogromny popyt na usługi kurierskie. Najbardziej popularną metodą nadania bądź odbioru paczki w 2020 roku była metoda polegająca na wykorzystaniu automatu paczkowego [Morawski, 2021, s. 252]. Jest to metoda polegająca na dostarczeniu towarów do specjalnych skrzynek pocztowych. Skrzynki pocztowe zwane paczkomatami pozwalają klientom odebrać przesyłkę z wygodnego miejsca o każdej porze dnia i nocy, bez konieczności oczekiwania na kuriera. Ich główną zaletą jest dostępność 24 godziny na dobę, 7 dni w tygodniu, dogodnie lokalizacje, brak kolejek typowych dla placówek pocztowych oraz konkurencyjna cena usługi (niższa od usług door-to-door Poczty Polskiej i innych firm kurierskich). Paczkomaty InPost cieszą się coraz większą popularnością wśród sklepów internetowych ze względu na wygodę i konkurencyjną cenę. Dostosowując się do stylu życia i rosnących oczekiwań konsumentów ta usługa kurierska stała się najpopularniejszą opcją dostawy [Sikora, 2024, s. 496]. W tym zakresie Polska jest zdecydowanie najszybciej rozwijającym się rynkiem w Europie. W 2023 roku w Polsce było 38 271 automatów paczkowych [Credit Agricole, 2024, s. 2], poprzez które realizowanych było ponad 40 % dostaw towarów do odbiorców końcowych. Kurierzy nie muszą dowozić furgonetką towarów pod kolejne adresy, a dostarczają je do jednego punktu. W efekcie pokonują mniejszy dystans, generując przy tym mniej emisji [Brodacki, 2022, s. 32].

Kolejnym rozwiązaniem problemu logistyki ostatniej mili jest używanie nisko bądź zeroemisyjnych elektrycznych samochodów dostawczych. Obecnie transport drogowy odpowiada za 20% emisji w Unii Europejskiej [Credit Agricole, 2024, s. 8]. Coraz częściej stosuje się pojazdy napędzane wodorem lub hybrydowe, które

stają się elementami strategii przedsiębiorstw dążących do bardziej zrównoważonego funkcjonowania [Kaniowski, 2025, s. 100; Guzowski i in., 2024]. Ekologizacja w odniesieniu do pojazdów samochodowych przybiera dwie podstawowe formy: stosowania paliw alternatywnych – ciekłych i gazowych, zelektryfikowanych układów napędowych – hybrydowych (spalinowo-elektrycznych) i w pełni elektrycznych [Brach i Wojtowski, 2021, s. 6]. W połowie 2024 r. w Polsce było zarejestrowanych 6776 sztuk samochodów dostawczych z napędem elektrycznym co jest znaczącym postępem, bo w 2019 było ich łącznie tylko 519 [Credit Agricole, 2024, s. 7]. Do swobodnego funkcjonowania samochodów elektrycznych niezbędny jest rozwój infrastruktury ładowania oraz zwiększenie efektywności ich baterii [Różański, 2024, s. 137]. Zdaniem ekspertów samochody elektryczne mają w Polsce przyszłość, również ze względu na powstające w centrach miast strefy czystego transportu. Dodatkowo system rządowych zachęt daje nabywcom samochodów elektrycznych m.in. preferencje w parkowaniu i umożliwia im poruszanie się po buspasach [Zapałowska, 2022, s. 81].

Do najnowszych trendów wpływających na rozwiązanie problemów logistyki ostatniej mili związanych z czasem dostawy czy pośrednio emisjami szkodliwych substancji należy strategia fulfillment. Jest to wykorzystanie centr logistycznych usytuowanych w pobliżu miejsc zamieszkania klientów, lokowanych na obrzeżach wielkich miast bądź zaraz pod nimi. Największą zaletą takiego rozwiązania jest możliwość szybkiej dostawy zamówień dzięki skróceniu odległości przewozu, co przekłada się na mniejszą ilość zanieczyszczeń [Zapałowska, 2022, s. 81]. Dzięki temu rozwiązaniu, przepływ towarów w centrach z przeładunkiem kompletacyjnym trwa mniej niż 24 godziny [Boichuk, 2022, s. 129].

Zyskującym na popularności rozwiązaniem w transporcie na odcinku ostatniej mili w miastach, są także rowery cargo. Ze względu na zatłoczenie ulic, koszty dostaw oraz troskę o środowisko naturalne, firmy i władze miejskie poszukują alternatywnych rozwiązań transportowych. Rower towarowy (zwany również dostawczym, cargo) ma zwiększoną ładowność i może przewozić paczki i towary a nawet większe ładunki na krótkich dystansach. Na rowery towarowe nie mają wpływu kongestie miejskie i brak miejsc parkingowych. Dodatkowo, pozytywnie przyczyniają się do redukcji emisji zanieczyszczeń powietrza oraz zapewniają mobilność w obszarach ograniczonego ruchu zmotoryzowanego oraz w wąskich uliczkach. Dzięki temu rozwiązaniu czas dostawy się skraca, przyczynia się do obniżenia kosztów dostaw firmy, niezawodności i satysfakcji klienta [Janczewski i Janczewska, 2024, s. 135, 136].

3. Przykłady zastosowania nowoczesnych technologii w logistyce ostatniej mili w branży e-commerce

Rozwój technologii znacząco zwiększył przejrzystość łańcucha dostaw, pozwalając firmom śledzić informacje na temat zdolności produkcyjnych, stanów magazynowych oraz podaży i popytu w czasie rzeczywistym. Firma UPS, używa zaawansowanego systemu UPSNav, by wyznaczyć trasę dostawy swoim kurierom, którzy często dokonują ponad 100 dostaw każdego dnia. UPSNav bazuje na platformie sztucznej inteligencji firmy UPS – ORION, która planuje dzienną trasę każdego samochodu dostawczego by zoptymalizować dystans i zużycie paliwa jednocześnie realizując wszystkie dostawy i zlecenia odbiorów. W procesie kalkulacji, ORION łączy matematyczną optymalizację, poprzednie doświadczenia kierowców (np. unikanie lewoskrętów) i dane zebrane z samochodów dostawczych (takie jak średni czas bezczynności przy każdej próbie doręczenia). UPSNav usprawnia działanie tej platformy, aktualizując trasę każdego pojazdu w ciągu dnia zgodnie z nowymi zleceniami odbioru oraz zmieniającymi się warunkami pogodowymi lub drogowymi. System może również uwzględniać inne zebrane informacje, które nie są widoczne na mapach (np. bramy wjazdowe, doki załadunkowe), a następnie wykorzystuje sztuczną inteligencję do dostarczania klientom dokładniejszych szacunków czasu dostawy [Phadnis i Schoemaker, 2022, s. 50].

Kolejną firmą, wykorzystującą sztuczną inteligencję w logistyce ostatniej mili jest firma DHL. Przedsiębiorstwo korzysta z oprogramowania bazującego na sztucznej inteligencji, którego twórcą jest firma Wise Systems. Oprogramowanie w kilka sekund porządkuje trasę składającą się ze 120 przystanków, biorąc pod uwagę takie parametry jak pilna dostawa medyczna, doręczenie wymagane przed godziną 9:00, czy też minimalizacja dystansu pomiędzy kolejnymi przystankami, aby uzyskać możliwie najefektywniejszą kolejność. Następnie, DHL za pomocą funkcji „śledź moją przesyłkę” wysyła powiadomienie do klienta, informując, że kurier znajduje się np. 20 minut od niego. Na tym etapie klient nadal może wprowadzić zmiany np. przełożyć dostawę na późniejszy termin lub przekierować do sąsiada. Dzięki temu, doświadczenie klienta jest pozytywne, a skuteczność doręczenia przesyłki przy pierwszej próbie się zwiększa [DHL].

Estoński startup Starship Technologies, założony w 2014 roku przez współzałożycieli Skype’a, opracował robota na kółkach, który dostarcza artykuły spożywcze, jedzenie na wynos oraz paczki. Obecnie firma Starship Technologies jest światowym liderem w dostawach autonomicznych. Roboty autonomiczne firmy Starship przeprowadziły ponad 7,1 miliona dostaw na świecie, przebyły 14 milionów kilometrów i są dostępne w 100 lokalizacjach takich jak kampusy uczelni w Stanach

Zjednoczonych czy miasta Wielkiej Brytanii, Niemiec i Estonii. Roboty poruszają się po chodnikach z prędkością porównywalną do pieszego. Codziennie wykonują ponad 150 000 przejść przez drogi i podjazdy na całym świecie. Mieszczą do trzech toreb zakupowych. Ich bateria umożliwia 18 godzin pracy na jednym ładowaniu. Specjalne zimowe koła umożliwiają zaś działanie w śniegu. Roboty te wyposażone są w radary, czujniki ultradźwiękowe, 12 kamer oraz sieci neuronowe. Tworzy to tzw. bańkę świadomości, dzięki której roboty rozpoznają pieszych, rowerzystów, zwierzęta i inne przeszkody, a następnie zatrzymują się lub omijają je w bezpieczny sposób. Roboty firmy Starship są całkowicie bezpieczne i autonomiczne. Pracują na poziomie autonomiczności L4. Są one dobrze oświetlone i oznakowane. Jednocześnie napędzane są energią elektryczną i są zeroemisyjne, co pozytywnie wpływa na środowisko miejskie. Dzięki nim można zredukować liczbę pojazdów emitujących szkodliwe substancje na drogach i zredukować koszty dostawy [starship.xyz/about/].

Kolejnym przykładem zastosowania nowoczesnych technologii i rozwiązań w logistyce ostatniej mili w branży e-commerce są automaty paczkowe – Paczkomaty InPost i One Box Allegro. Są to samoobsługowe skrytki, z których klienci mogą odbierać zamówienia przez 24 godziny w ciągu dnia, 7 dni w tygodniu. W Polsce InPost rozmieścił ponad 25 tysięcy paczkomatów [inpost.pl/o-inpost]. Firmy z branży KEP chcąc pozostać konkurencyjne, również zainwestowały w technologię automatów paczkowych, czego przykładem jest Allegro. Przedsiębiorstwo, w 2021 roku uruchomiło sieć Allegro One Punkt. Firma posiada 9517 punktów odbioru, z czego 5196 to automaty paczkowe Allegro One Box, a pozostałe to punkty odbioru w małych sklepach np. kolporter [allegro.pl/kampania/one/znajdz-nas#]. Usługi dostawy poza domem, przyczyniają się do ograniczenia emisji CO₂. Pozwalają także przedsiębiorstwom logistycznym zaoszczędzić czas i zredukować koszty. Klienci również są beneficjentami, bo nie muszą być w miejscu dostawy i czekać na kuriera, tylko mogą odebrać swoją paczkę w dowolnym momencie dnia, kiedy im “pasuje”. Warto zaznaczyć, iż 64% klientów odbiera swoje przesyłki przy okazji załatwiania innych spraw [inpost.pl/inpost-dla-ekologii].

Kolejnym przykładem są cyfrowe aplikacje i śledzenie przesyłek. Rozwój cyfrowych narzędzi dla kurierów i klientów pozwala na pełną widoczność statusu przesyłki. Od momentu nadania, aż po dostarczenie do rąk klienta. Firmy e-commerce i kurierskie inwestują w zaawansowane systemy śledzenia, by zwiększyć poziom satysfakcji obsługi klienta. Przykładowo, klienci firmy Amazon mogą sprawdzać gdzie znajduje się ich paczka w aplikacji mobilnej “Amazon” za pomocą systemu śledzenia paczek. Klient wpisuje identyfikator śledzenia i ma podgląd na jakim etapie dostawy znajduje się w danej chwili jego paczka [Amazon.com]. Dzięki temu, klient ma więcej wiedzy na temat jego zamówienia, czuje się pewniej co pozytywnie

wpływa na jakość doświadczenia i obsługi. W Polsce aplikacja mobilna InPost Mobile również pozwala na śledzenie przesyłki. Do jej głównych zalet zaliczyć można ominięcie potrzeby drukowania etykiety, co jest wygodne dla nadawcy. Dzięki tej funkcji, przesyłkę można wysłać z dowolnego paczkomatu. Skrytki można otwierać zdalnie co pozwala na ominięcie kolejki. Informacje na temat paczki posiada się w jednym miejscu, na ekranie startowym aplikacji. Aplikacja wysyła powiadomienia przy każdej zmianie statusu paczki, co powoduje większą transparentność w procesie dostawy i spokój klienta [inpost.pl/aplikacja-mobilna]. Firma DPD, posiada stronę internetową "tracktrace.dpd.com.pl", w której można zlokalizować przesyłkę posługując się numerem listu przewozowego, numerem referencyjnym, numerem awizo/nadania bądź numerem zlecenia [DPD]. Z kolei firma DHL również posiada aplikację mobilną „Mój DHL”, która pozwala na przygotowanie etykiety nadania wysyłkowej, wybrania najdogodniejszego punktu nadania oraz śledzenia swojej paczki w czasie rzeczywistym.

Drony dostawcze są kolejnym przykładem użycia zaawansowanej technologii w kontekście dostaw ostatniej mili rynku e-commerce. Firma Walmart, we współpracy z Wing (Alphabet), testuje dostawy dronami w USA, skracając czas realizacji zamówień i poprawiając efektywność dostaw e-commerce [Kornatowski, 2024, s. 61]. Firma Amazon zaś jako pierwsza przedstawiła plany zastosowania dronów w takim celu. Punkt przełomowy nastąpił, gdy przedsiębiorstwo Amazon ogłosiło Prime Air. Jednakże firma DHL jako pierwsza wprowadziła takie rozwiązanie do oferty swoich usług kurierskich. W tym projekcie założono transport leków i innych potrzebnych towarów na wyspę Juist na Morzu Północnym [Remiszewska i Czuba-szek, 2021, s. 146]. Dwa australijskie start-upy, Zookal i Flirtey, przeprowadziły zaś testy wdrożeniowe dronów, mających dostarczać klientom końcowym wypożyczone lub sprzedane podręczniki. Książki spuszczone były za pomocą liny. Proces ten mógł być uruchomiony wyłącznie przez adresata (po wcześniejszej autoryzacji). W 2021 r. również w Lublinie wylądował pierwszy dron sieci sklepów Decathlon, który chwilę wcześniej dostarczył zamówienie klientowi indywidualnemu do jego domu. Maszyna Hermes V8M na pokładzie miała kilka paczek, jedną dostarczyła klientowi, a inne trafiły do sklepu, gdzie zostały odebrane przez pracowników [Orłowska i Orłowski, 2024, s. 74].

Kolejnym przykładem zastosowania nowoczesnych technologii w logistyce ostatniej mili w logistyce ostatniej mili w branży e-commerce są floty nowych samochodów elektrycznych. Samochody, głównie osobowe oraz niewielkie dostawcze, kupują przedsiębiorcy z małych i średnich firm, korzystając z dofinansowania, m.in. w ramach programu Mój Elektryk [Zapałowska, 2022, s. 81]. Pod koniec

marca 2025 roku, liczba samochodów dostawczych i ciężarowych z napędem elektrycznym wynosiła 8639 sztuk [Polski Związek Przemysłu Motoryzacyjnego, 2025]. Firma GLS w 2022 r. włączyła do swojej floty dostawczej 100 nowych elektryków. DHL Express do roku 2050 chce w swojej flocie mieć 60% aut elektrycznych. Przedsiębiorstwo DPD kupiło w 2021 roku 50 elektrycznych Crafterów. Strategia dekarbonizacji grupy InPost, zakłada zaś osiągnięcie zerowej emisji netto gazów cieplarnianych w całym łańcuchu wartości do 2040 roku [Boguszewski i in., 2024, s. 38]. Firma InPost posiada największą flotę 1000 samochodów elektrycznych wśród polskich firm kurierskich [inpost.pl/inpost-dla-technologiei]. Dzięki temu firma przyczynia się do dekarbonizacji korzystając z nowoczesnych rozwiązań w branży motoryzacyjnej. Firma Amazon, posiadająca tysiące elektrycznych vanów na terenie Europy, w roku 2023 ogłosiła, że na terenie niemieckich miast, takich jak Monachium, Berlin i Dusseldorf, pojawiło się 300 nowych pojazdów elektrycznych. Poinformowano, że planuje on zainwestować 1 miliard euro aby zelektryfikować europejską sieć transportową i zredukować emisję dwutlenku węgla na ostatnim odcinku dostaw kurierskich. W 2022 roku, firma Amazon dostarczyła w Niemczech ponad 45 milionów paczek przy użyciu elektrycznych furgonetek i rowerów cargo. Nowe pojazdy od firmy Rivian pomogły realizować dostawy w sposób bardziej zrównoważony i do większej liczby klientów [aboutamazon.eu].

4. Zalety i wady nowoczesnych rozwiązań stosowanych w logistyce ostatniej mili

Automaty paczkowe to obecnie najpopularniejsze rozwiązanie stosowane w dostawach ostatniej mili. Ich kluczową zaletą jest ograniczenie emisji spalin, ponieważ przesyłki trafiają do zbiorczych punktów odbioru zamiast być doręczane indywidualnie do każdego odbiorcy. Dodatkowo, paczkomaty umożliwiają nadanie i odbiór przesyłki przez całą dobę, siedem dni w tygodniu. To rozwiązanie zapewnia dużą elastyczność – odbiorca może samodzielnie wybrać lokalizację paczkomatu i nie musi być obecny w momencie dostawy, co eliminuje konieczność kontaktu z kurierem. Pomimo licznych zalet, automaty paczkowe nie są pozbawione wad. Największym wyzwaniem jest wysoki koszt ich budowy i instalacji. Co więcej, infrastruktura ta koncentruje się głównie w dużych miastach. Na wsiach i w mniejszych miejscowościach dostęp do paczkomatów jest nadal ograniczony [Boichuk, 2022, s. 128].

Dostawy ostatniej mili z użyciem technologii takich jak dron dostawczy czy robot autonomiczny mają wiele zalet środowiskowych i miejskich. Przede wszystkim, ich użycie pozwala zmniejszyć natężenie ruchu na drogach, bo nie wymagają użytku

infrastruktury liniowej takiej jak ulice. Jako że nie wymagają użytku paliw kopalnych i są napędzane energią elektryczną, redukują emisję spalin co pozytywnie wpływa na jakość powietrza w wielkiej aglomeracji miejskiej. Omijając kongestie miejskie, rozwiązania te przyczyniają się do skrócenia czasu dostawy, co pozytywnie wpływa na doświadczenie klienta z zakupu i jego przyszłej lojalności wobec sklepu. Drony i roboty również umożliwiają dostawy przesyłek bez kontaktu z klientem co jest pozytywne w kontekście sanitarnym. Natomiast do głównych wad dronów i robotów można zaliczyć liczne problemy z regulacjami prawnymi dotyczącymi możliwości użycia tych urządzeń w przestrzeni aglomeracji miejskich oraz ograniczenia związane z rozmiarowością i wagą przesyłek dostarczanych przez drony i roboty dostawcze. Urządzenia te, są w stanie przewozić niewielkie i lekkie towary w porównaniu z tradycyjnymi pojazdami – autami dostawczymi. Do wdrożenia dronów niezbędna jest odpowiednia infrastruktura logistyczna, taka jak lądowiska, które są kosztowne. Wadą jest też niski poziom bezpieczeństwa przewozu przesyłek oraz brak możliwości złożenia natychmiastowej reklamacji przy odbiorze [Boichuk, 2022 s. 128]. Dodatkowo społeczeństwo jest niechętnie nastawione do dronów ze względu na możliwość naruszania prywatności, gdyż są one wyposażone w kamery i inne sensory rejestrujące obraz. Z perspektywy mieszkańców, problemem może być również hałas generowany przez drony oraz potencjalne „zatłoczenie” nieba nad miastami. Dźwięki, które drony emitują podczas lotu, mogą być uciążliwe, zwłaszcza przy ich dużej liczbie. Awaria drona może skutkować jego upadkiem na ziemię czego efektem może być uszkodzenie zdrowia czy mienia. Dodatkowo obawą społeczeństwa może być ryzyko kradzieży przesyłki w przypadku awarii drona [Kornatowski, 2024, s. 63, 64].

Zastosowanie sztucznej inteligencji (AI) w procesie dostawy ostatniej mili przynosi wiele korzyści. Przede wszystkim umożliwia firmom kurierskim optymalizację tras, co prowadzi do zmniejszenia zużycia paliwa i obniżenia kosztów operacyjnych. Dzięki temu możliwe jest przeprowadzanie większej liczby dostaw w krótszym czasie lub w tym samym przedziale czasowym. AI wspiera również efektywne zarządzanie zapasami. Pozwala firmom prognozować popyt oraz lepiej planować i wykorzystywać dostępne zasoby. Zastosowanie zaawansowanych programów informatycznych usprawnia cały proces logistyczny. Dodatkowym atutem jest poprawa doświadczeń klientów. Dzięki szybszym i bardziej przewidywalnym dostawom, firmy kurierskie mogą budować lojalność klientów, co jest szczególnie istotne w wysoce konkurencyjnym środowisku branży KEP. Z drugiej strony, wdrożenie sztucznej inteligencji wiąże się również z pewnymi wyzwaniem. Firmy muszą ponieść koszty inwestycji w nowoczesne technologie, które umożliwią skuteczne korzystanie

z możliwości AI. Konieczna jest także integracja nowych systemów z już istniejącymi rozwiązaniami technologicznymi. Proces ten wymaga odpowiedniego przeszkolenia personelu. Szkolenia te pochłaniają czas i zasoby materialne, jednak są niezbędne, aby pracownicy umieli efektywnie korzystać z nowych narzędzi. Tylko wtedy ich wykorzystanie może przynieść realne korzyści i nie obniżyć standardów jakościowych działalności firmy [Kozłowska, 2024, s. 112].

Współczesne firmy kurierskie coraz częściej wdrażają strategie środowiskowe, których celem jest osiągnięcie zerowej emisji dwutlenku węgla do 2040 roku. Przykładem są takie firmy jak InPost czy Amazon. Jednym z głównych elementów tych strategii jest wykorzystywanie samochodów elektrycznych w procesach dostaw. Pojazdy elektryczne nie emitują dwutlenku węgla ani innych szkodliwych substancji w miejscu użytkowania. Ma to duże znaczenie dla rosnącej grupy świadomych ekologicznie klientów, szczególnie tych mieszkających w zanieczyszczonych, zurbanizowanych obszarach. Dodatkowo, samochody elektryczne cechują się niskimi kosztami eksploatacji, zwłaszcza w porównaniu z pojazdami spalinowymi napędzanymi benzyną. Kurierzy cenią sobie także ich niską awaryjność, co przekłada się na stabilność pracy i ograniczenie przestojów technicznych. W wielu miastach pojazdy elektryczne mogą poruszać się po buspasach oraz korzystać z innych przywilejów komunikacyjnych. Dzięki temu możliwe jest skrócenie czasu dostawy do klienta końcowego [Różański, 2024, s. 137]. Pomimo licznych korzyści, samochody elektryczne nie są pozbawione wad. Najpoważniejszym problemem jest niewystarczająca liczba publicznych punktów ładowania. Mimo trwającej rozbudowy infrastruktury, poza dużymi miastami dostęp do stacji ładowania jest nadal ograniczony [Credit Agricole, 2024, s. 7]. Kolejnym wyzwaniem jest wysoki koszt zakupu samochodów elektrycznych, który wciąż przewyższa koszt nabycia pojazdów spalinowych. Dodatkowo, ograniczona pojemność baterii litowo-jonowych wymaga starannego planowania dłuższych tras. To może stanowić istotną barierę w dynamicznej branży kurierskiej, gdzie elastyczność i szybkość dostawy są kluczowe [Dereń i Owczarek, 2021, s. 23; Szpilko i in., 2021].

Podsumowanie

Logistyka ostatniej mili stanowi najtrudniejszy do zoptymalizowania i najdroższy odcinek w łańcuchu dostaw. Dodatkowo podczas przeprowadzania operacji na tym odcinku emituje się najwięcej spalin. Na obszarach silnie zurbanizowanych występują kongestie, które znacząco wydłużają proces dostawy, a przez nie firmy dostawcze ponoszą wyższe koszty. Przez wydłużenie czasu dostaw zanieczyszczenie powietrza rośnie a w dzisiejszych czasach odbiorcy chcą lepszych warunków życia

w tym czystsze powietrze wolne od spalin. By rozwiązać te problemy, opracowano wiele rozwiązań, które są wdrażane przez firmy kurierskie. Przede wszystkim automaty paczkowe, pozwalające na konsolidację przesyłek. Dzięki nim skraca się czas dostawy, emituje się mniej spalin a przedsiębiorstwo ponosi mniejsze koszty. Rozwiązaniem testowanym i możliwym do ominięcia kongestii i redukcji emisji są drony dostawcze oraz autonomiczne roboty. Drony poruszają się w przestrzeni powietrznej, a autonomiczne roboty dostawcze na chodnikach i omijają kongestie miejskie i braki miejsc parkingowych, skracając czas dostawy. Dzięki postępowi technologicznemu, możliwe do zastosowania staje się użycie sztucznej inteligencji do optymalizacji tras dostaw. Dzięki niej czas dostawy, emisja spalin oraz koszty ulegają redukcji. Ze względu na problemy środowiskowe, a co za tym idzie politykę miast, które wprowadzają m.in. strefy czystego transportu, firmy decydują się modernizować swoje floty pojazdów dostawczych i wymieniać je na elektryczne odpowiedniki. Dzięki temu ilość emisji spalin i hałasu spada, a w miastach w których zielone pojazdy są uprzywilejowane może skrócić się czas dostawy. Choć każda z tych technologii posiada pewne bariery, takie jak koszty infrastruktury, koszty pojazdów, bariery regulacyjne i ładowościowe czy akceptację społeczeństwa, są to rozwiązania, które należy implementować dla dobra wszystkich uczestników procesu logistyki ostatniej mili. Szereg korzyści środowiskowych, ekonomicznych i efektywność czasowa dominują nad wadami.

ORCID iD

Danuta Szpilko: <https://orcid.org/0000-0002-2866-8059>

Literatura

1. Allegro (2025), *Znajdź nas – Kampania Allegro One*, <https://allegro.pl/kampania/one/znajdz-nas> [02.05.2025].
2. Amazon (2023), *Amazon rolls out first electric vans from Rivian in Europe*, <https://www.aboutamazon.eu/news/sustainability/amazon-rolls-out-first-electric-vans-from-rivian-in-europe> [03.05.2025].
3. Amazon (2025), *oRRs Deliveries Package Tracker*, <https://www.amazon.com/oRRs-Deliveries-Package-Tracker/dp/B00ILPCCZC> [01.05.2025].
4. Boguszewski Ł., Chaładyn K., Cudziło M., Kasiński P., Majowicz A., Maroszek M., Moryto M., Powalka J., Streker P., Zając K. (2024), *Logistyka e-commerce. Gdzie jesteśmy, a gdzie chcemy być? – Marzec 2024. Raport*, Polski Instytut Transportu

- Drogowego, Wrocław, <https://pitd.org.pl/logistyka-e-commerce-pobierz-darmowy-portal/> [24.04.2025].
5. Boichuk, N. (2022), *Logistyka ostatniej mili jako najdroższy odcinek łańcucha dostaw*, W: S. Konecka i A. Łupicka (red.), *Logistyka Gospodarki Światowej*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, Poznań, s. 123-133.
6. Brach J., Pawłowska M. (2020), *Operator zastępczy w dostawach realizowanych w ramach tzw. ostatniej mili*, Zeszyty Naukowe Polskiego Towarzystwa Ekonomicznego w Zielonej Górze, 7 (13), s. 31-42
7. Brach, J., Wojtowski, B. (2021), *Ekologizacja ostatniej mili od strony taborowej*, Zeszyty Naukowe Polskiego Towarzystwa Ekonomicznego w Zielonej Górze, 14, s. 5-23.
8. Brodacki D. (2022), *Transformacja ostatniej mili, zeroemisyjność w logistyce miejskiej*, Fundacja Promocji Pojazdów Elektrycznych, Warszawa, <https://fppe.pl/wp-content/uploads/2023/03/transformacja-ostatniej-mili-zeroemisyjnosc-w-logistyce-miejskiej.pdf> [24.04.2025].
9. Brząkała M. (2023), *Wpływ pandemii oraz ataku Rosji na Ukrainę na logistykę ostatniej mili z uwzględnieniem rozwoju zachowań konsumenckich oraz globalnych łańcuchów dostaw*, W: Dziaduch I. (red.), *Debiuty Studenckie 2022; Logistyka i Transport*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, s. 25-39.
10. Budna K., Rogowska W., Szpilko D. (2025), *Autonomiczny transport przyszłości – ocena ryzyka zagrożeń latających taksówek*, Akademia Zarządzania, 9(1), s. 214–243.
11. Bulanda A., Dziedzic D. (2024), *Sposoby realizacji dostaw w strefach niskiej emisji*, Studia i Prace Kolegium Zarządzania i Finansów, 196, s. 41-53.
12. Cichosz M. (2020), *Drony w logistyce ostatniej mili - innowacja wspierająca zrównoważoną logistykę*, W: Zagrajek, P. (red.) *Sektor lotniczy w erze transformacji społecznej i technologicznej*, Oficyna wydawnicza SGH, Warszawa, s. 415-429.
13. Credit Agricole Leasing (2024), *Pojazdy dostawcze wsparciem dla biznesu – Raport Specjalny EFL*, https://efl.pl/wp-content/uploads/2024/09/Raport_EFL_Pojazdy_Dostawcze_Raport.pdf [05.05.2025].
14. Dereń K., Owczarek W. (2021) *Elektromobilność w Europie perspektywy jej wdrożenia w Polsce*. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, Organizacja i Zarządzanie, 84, s. 20-30.
15. DHL (2025), *AI in logistics and last mile delivery*, <https://www.dhl.com/discover/english/global/logistics-advice/logistics-insights/ai-in-logistics-and-last-mile-delivery> [05.05.2025].
16. DPD (2025), *Track & Trace – shipment tracking*, <https://tracktrace.dpd.com.pl/> [05.05.2025].
17. Faryś J. (2022), *Niskoemisyjna mobilność czyli nowe oblicze motoryzacji w najbliższej przyszłości*, Magazyn Nowa Energia, 1 (82), s. 64-66.

18. Grabanski S., Szymczak M., Igliński H. (2018), *Transport niskoemisyjny i autonomiczny w dystrybucji. Problem dostaw ostatniej mili*, Handel Wewnętrzny, 6 (377), s. 422-435.
19. Guzowski M., Aneszko W., Giegiel B., Szpilko D. (2024), *Zastosowanie Internetu Rzeczy w kontekście zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstw w branży TSL*, Akademia Zarządzania 8 (3), s. 261-276.
20. InPost (2025), *Aplikacja mobilna InPost*, <https://inpost.pl/aplikacja-mobilna> [05.05.2025].
21. InPost (2025), *InPost dla ekologii*, <https://inpost.pl/inpost-dla-ekologii> [05.05.2025].
22. Janczewski J., Janczewska D. (2024), *Rowery towarowe w zrównoważonym transporcie miejskim*, Zarządzanie Innowacyjne w Gospodarce i Biznesie, 2 (39), s. 135-151.
23. Kaniowski M. (2025), *Nowe perspektywy zielonej logistyki: Przegląd literatury. Ocena wdrożeń ekologicznych i współczesne wyzwania*, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej, 57 (1), s. 98-112.
24. Kornatowski P., (2024), *Dostawy dronami w miastach - największe wyzwania*, Mechanika w lotnictwie, 1050 (21), s. 59-67.
25. Kozłowska J., (2024), *Optymalizacja procesów logistycznych w e-commerce za pomocą sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego*, Zarządzanie i Jakość, 6 (3), s. 103-115.
26. Polski Związek Przemysłu Motoryzacyjnego (2025), *Licznik Elektromobilności - Marzec 2025*, Warszawa, <https://www.pzpm.org.pl/pl/Elektromobilnosc/Licznik-Elektromobilnosc/Marzec-2025> [18.04.2025].
27. Majowicz A., Gral M., Maroszek M. (2022), *Raport: Ostatnia mila dla e-commerce*, Polski Instytut Transportu Drogowego, Wrocław, <https://pitd.org.pl/news/raport-ostatnia-mila-dla-e-commerce-premiera/> [21.04.2025].
28. Morawski J. (2021), *Logistyka ostatniej mili - usprawnienia w obsłudze klienta*, Przedsiębiorczość i Zarządzanie, 22 (2), s. 241-257.
29. Mroczko F. (2023), *Sztuczna inteligencja i jej wykorzystanie w logistyce*, Prace Naukowe Wyższej Szkoły Zarządzania i Przedsiębiorczości z siedzibą w Wałbrzychu, 53 (1), s. 41-60.
30. Orłowska M., Orłowski D. (2024), *Wyzwania i możliwości zastosowania dronów w logistyce miejskiej*, Gospodarka Materiałowa i Logistyka, 76 (3), s. 69-79.
31. Pawlicka K., Bal M. (2021), *Zastosowanie sztucznej inteligencji i zrównoważonych finansów łańcucha dostaw w obsłudze logistycznej omnichannel*, Gospodarka Materiałowa i Logistyka, (10), s. 27-35.
32. Phadnis, S. S., Schoemaker, P. J. (2022), *Visibility Isn't Enough: Supply Chains Also Need Vigilance*. Management and Business Review, 2 (2), pp. 49-59.
33. Remiszewska A., Czubaszek M. (2021), *Wykorzystanie dronów w logistyce w Polsce – szanse i ograniczenia*, Akademia Zarządzania, 5 (2), s. 140-154.

34. Różański, M. (2024), *Wybrane trendy w branży motoryzacyjnej a przyszłość logistyki ostatniej mili*, Zeszyty Studenckie „Nasze Studia”, 14, s. 131-139.
35. Różycki M., Gral M. (2024), *Green Last Mile Europe Report 2024*, Last Mile Experts, Warszawa, <https://lastmileexperts.com/index.php/reports-subscriptions/> [05.05.2025].
36. Sikora M. (2024), *Competition on the courier and postal services market*, Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie, 193, s. 489-512.
37. Smyk S. (2017), *Dystrybucja fizyczna przesyłek kurierskich, ekspresowych pocztowych jako kluczowe przedsięwzięcie „logistyki ostatniej mili”*, Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, 6, s. 1529-1535.
38. Starship (2024), *About*, <https://www.starship.xyz/about/> [05.05.2024].
39. Szeląg K. (2024), *Dokąd zmierza ostatnia mila*, Rocznik Bezpieczeństwa Morskiego, 18, s. 691-706.
40. Szpilko D., Bazydło D., Bondar E. (2021), *Wpływ pandemii COVID-19 na zakres i jakość usług kurierskich. Wyniki badań wstępnych*, Marketing i Rynek, 28, s. 10-22.
41. Szpilko D., Jimenez Naharro F., Lăzăroiu G., Nica E., de la Torre Gallegos A. (2023), *Artificial intelligence in the smart city – a literature review*, Engineering Management in Production and Services, 15(4), s. 53-75.
42. Topczewska J., Krupa S. (2022), *Zrównoważona logistyka żywności a technologie przemysłu 4.0*, Polish Journal for Sustainable Development, 26 (1), s. 43-50.
43. Zapałowska A. (2022), *Innowacyjne praktyki zrównoważonego rozwoju w logistyce*, Polish Journal for Sustainable Development, 26 (2), s. 77-85.
44. Znosko-Czarnecki A. (2022), *Współczesne trendy i wyzwania w logistyce – seminarium „Logistyczne wojny” jako forum wymiany myśli*, w: Baraniecka A., Marcinkowski J. (red.), *Debiuty Studenckie 2022. Trendy w logistyce*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Wrocławiu, s. 100-111.

Modern technologies and solutions to improve last-mile logistics in e-commerce

Abstract

Modern technologies and solutions that improve last mile logistics in e-commerce are essential for the functioning of CEP companies. There are a number of problems in last-mile logistics that require innovative solutions. On the last mile of delivery, there are problems such as high costs, delays, air pollution, while customers expect faster and more flexible delivery. The answer to these problems is solutions using technology. The article presents

the use of artificial intelligence to optimise routes, the use of drones and delivery robots, parcel machines, mobile applications and electric vehicles. The aim of the study was to present modern technologies and solutions that can lead to improvements in the last stage of delivery. Solutions implemented by companies such as InPost, Allegro, UPS, DHL, Amazon and Starship Technologies are included. It shows how modern technologies improve the state of air pollution; how companies use these solutions and how usage of these technologies affects the natural environment. The advantages and disadvantages were also analysed, pointing to costs, legal problems and issues of social acceptance. The conclusions of the work confirm that the implementation of modern technologies in last mile logistics is crucial for the future of e-commerce and the achievement of sustainable development goals.

Key words

last mile, e-commerce, parcel locker, artificial intelligence, drone