

Projektowanie odpornej logistyki szybkich dostaw w mieście z wykorzystaniem mikrohubów

Daniel Konrad Węgrzynek

GCL Technology

e-mail: daniel@gcl-technology.com

Marzenna Cichosz

Szkoła Główna Handlowa w Warszawie

e-mail: marzenna.cichosz@sgh.waw.pl

ORCID: [0000-0002-5547-3951](https://orcid.org/0000-0002-5547-3951)

© 2026 Daniel Konrad Węgrzynek, Marzenna Cichosz

Praca opublikowana na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa-Na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowe (CC BY-SA 4.0). Skrócona treść licencji dostępna jest online na <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.pl>

Cytuj jako: Węgrzynek, D. K. i Cichosz, M. (2026). Projektowanie odpornej logistyki szybkich dostaw w mieście z wykorzystaniem mikrohubów. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 70(2), 126-136.

DOI: [10.15611/pn.2026.2.10](https://doi.org/10.15611/pn.2026.2.10)

JEL: L81, L91, R41

Streszczenie

Cel: Celem artykułu jest zbadanie, jak wykorzystanie mikrohubów w organizacji przepływów w ramach logistyki ostatniej mili w mieście wpływa na odporność systemu szybkich dostaw produktów spożywczych kupowanych online.

Metodyka: Badanie ma charakter jakościowy. Autorzy, chcąc poznać relacje przyczynowo-skutkowe występujące w logistyce szybkich dostaw w mieście, zdecydowali się na analizę pojedynczego studium przypadku pilotażowego wdrożenia mikrohubów u jednego z detalistów w branży spożywczej, który posiada sieć punktów stacjonarnych oraz sklep online. W pilotażu wybrane sklepy stacjonarne pełniły funkcję mikrohubów konsolidujących dostawy online do konsumentów. Analiza wykorzystuje obserwację uczestniczącą autorów, dane operacyjne, dokumentację projektową oraz wywiady z uczestnikami projektu.

Wyniki: Wyniki wskazują, że stabilność operacyjna w logistyce szybkich dostaw w mieście może być osiągnięta przede wszystkim poprzez uproszczenie struktury systemu. Model mikrohubowy redukuje zmienność przestrzenną, czasową i informacyjną poprzez ograniczenie promienia działania,

standaryzację procesów dostaw oraz zmniejszenie niepewności dzięki technologiom monitorującym. Tak zaprojektowany system charakteryzuje się niższą złożonością decyzyjną oraz większą przewidywalnością realizacji dostaw w warunkach wysokiej zmienności popytu i operacyjnej niepewności.

Implikacje i rekomendacje: Badanie wskazuje, że odporność w logistyce ostatniej mili może być projektowana jako właściwość strukturalna systemu (*resilience-by-design*), osiągana poprzez redukcję złożoności zamiast nadmiarowości zasobów i/lub zwiększania elastyczności systemu. Niezbędna jest integracja badań nad mikrohubami z podejściem strukturalnym do odporności. Z perspektywy praktycznej wyniki wskazują na potencjał projektowania uproszczonych systemów operacyjnych jako alternatywy dla modeli opartych na intensywnej optymalizacji algorytmicznej.

Oryginalność/wartość: Artykuł jest jednym z pierwszych, który łączy problematykę mikrohubów z teorią odporności logistyki w mieście oraz wprowadza pojęcie odporności strukturalnej w logistyce ostatniej mili. Wskazuje, że mikrohuby mogą redukować złożoność operacyjną, a nie jedynie być narzędziem zwiększania efektywności.

Słowa kluczowe: mikrohub miejski, szybkie dostawy, ostatnia mila, logistyka miejska, odporność

1. Wprowadzenie

Współczesne miasta doświadczają dynamicznego wzrostu przepływów ludzi i towarów, wynikającego z postępującej urbanizacji, rosnącej mobilności mieszkańców oraz intensyfikacji procesów dystrybucyjnych. Szczególnym wyzwaniem staje się fakt, że transport pasażerski i towarowy funkcjonują w obrębie tej samej ograniczonej infrastruktury miejskiej, co prowadzi do narastającej konkurencji o przestrzeń transportową oraz zwiększa podatność systemów logistycznych na zakłócenia. W literaturze logistyki miejskiej podkreśla się, że konkurencja o przestrzeń transportową oraz rosnąca intensywność dostaw stanowią kluczowe wyzwania dla funkcjonowania współczesnych miast (Taniguchi i in., 2010). Zjawisko to dodatkowo nasila dynamiczny rozwój handlu elektronicznego (e-handlu), w tym segmentu szybkich dostaw (*quick commerce/q-commerce*) produktów spożywczych, artykułów pierwszej potrzeby oraz posiłków z restauracji. W konsekwencji wzrasta liczba małoskalowych i czasowo wrażliwych przesyłek realizowanych w przestrzeni miejskiej (Tavasszy, 2024). Jednocześnie operacje dystrybucyjne w miastach charakteryzują się wysoką zmiennością wynikającą z wahań natężenia ruchu w ciągu dnia, nierównomiernego rozkładu popytu w ciągu tygodnia oraz nieprzewidywalności operacji (Węgrzynek i Cichosz, 2025). W takich warunkach logistyka ostatniej mili – szczególnie w segmencie szybkich dostaw – staje się najbardziej podatnym na zakłócenia elementem miejskich łańcuchów dostaw (Macharis i Kin, 2017). Powoduje to rosnącą potrzebę projektowania rozwiązań zwiększających odporność operacyjną systemów dystrybucji miejskiej.

Analiza literatury wskazuje, że zmienność zapotrzebowania na usługi dostaw w miastach była ograniczana przede wszystkim poprzez zwiększanie elastyczności operacyjnej, m.in. dzięki dynamicznemu planowaniu tras, czasowemu zwiększaniu zasobów kurierskich oraz wykorzystaniu zaawansowanych systemów prognozowania popytu (Adewusi i in., 2024). Znacznie rzadziej wykorzystywano mikrohuby logistyczne jako strukturalny mechanizm ograniczania zmienności operacyjnej oraz stabilizowania organizacji dostaw ostatniej mili w mieście. Pojawiały się one, jednak głównie w kontekście konsolidacji ładunków, redukcji kosztów transportu oraz ograniczania emisji w miastach (Cheba i Saniuk, 2016).

Celem artykułu jest zbadanie, jak wykorzystanie mikrohubów w organizacji przepływów w ramach logistyki ostatniej mili w mieście wpływa na odporność systemu szybkich dostaw (*quick commerce*) produktów spożywczych kupowanych online. Analiza wykorzystuje pojedyncze studium przypadku pilotażowego wdrożenia modelu szybkich dostaw produktów spożywczych u jednego z wiodących detalistów, w którym wybrane istniejące sklepy detaliczne pełniły funkcję mikrohubów konsolidujących dostawy zamówień online do konsumentów.

2. Przegląd literatury

2.1. Odporność systemów logistyki miejskiej – pojęcia, typologia i mechanizmy

Logistyka ostatniej mili w obszarze szybkich dostaw stanowi jeden z najbardziej wymagających segmentów logistyki miejskiej, charakteryzujący się wysoką częstotliwością zamówień, krótkimi oknami czasowymi realizacji dostaw, silną wrażliwością klientów na opóźnienia oraz znaczną zmiennością popytu w ciągu dnia i tygodnia (Weber-Snyman i Badenhorst-Weiss, 2016; Węgrzynek i Cichosz, 2025). W warunkach ograniczonej i współdzielonej infrastruktury miejskiej zmienność ta bezpośrednio przekłada się na podatność systemu dostaw na zakłócenia. Dlatego w celu utrzymania ciągłości biznesowej konieczne jest budowanie odporności (*resilience*), czyli zdolności systemu do absorpcji zakłóceń, utrzymania kluczowych funkcji operacyjnych oraz powrotu do stanu równowagi lub przejścia do nowego stanu funkcjonalnego (Sheffi i Rice, 2005; Ta i in., 2009).

W literaturze wyróżnia się dwa główne podejścia do budowania odporności systemów:

- odporność reaktywna – rozwija się w odpowiedzi na zakłócenie poprzez dynamiczną rekonfigurację zasobów, uruchomienie rezerw lub przywracanie ciągłości przerwanych procesów;
- odporność proaktywna, określana również jako projektowana (*designed resilience*) – wbudowana w architekturę systemu przed wystąpieniem zakłócenia poprzez świadome decyzje strukturalne ograniczające podatność systemu na zmienność (Patnala i in., 2024).

Równolegle funkcjonuje typologia wywodząca się z nauk o systemach złożonych, identyfikująca trzy poziomy odporności (Du i in., 2022):

- odporność inżynierska (*engineering resilience*) – opisuje zdolność systemu do powrotu do stanu sprzed zakłócenia i jest nastawiona na utrzymanie stabilności oraz odbudowę;
- odporność ekologiczna (*ecological resilience*) – akcentuje zdolność do absorpcji zakłócenia oraz adaptacji do nowych warunków operacyjnych bez konieczności powrotu do stanu pierwotnego;
- odporność społeczno-ekologiczna (*social-ecological resilience*) – obejmuje najszerszy wymiar: aspekty ludzkie, instytucjonalne i koordynacyjne – zdolność aktorów sieci do uczenia się, współpracy i transformacji w odpowiedzi na zakłócenie (Adewusi i in., 2024; Lin i in., 2023).

Bliska pojęciu odporności inżynierskiej jest koncepcja krzepkości organizacyjnej (*robustness*), czyli zdolności do zachowania funkcjonalności mimo zakłóceń bez zmiany struktury systemu. Krzepkość jest własnością statyczną, zorientowaną na wytrzymałość (Ta i in., 2009), podczas gdy odporność ma charakter dynamiczny i obejmuje zdolność do adaptacji, odbudowy lub transformacji po wystąpieniu zakłócenia (Gao i Wang, 2021). Warto nadmienić, że stabilność operacyjna systemu polega na ograniczeniu odchyłeń od planowanych parametrów realizacji usługi i jest mierzalnym wynikiem działania systemu, osiągalnym zarówno w ramach mechanizmów budowania krzepkości, jak i odporności systemu.

W odpowiedzi na rosnącą złożoność i zmienność środowiska operacyjnego logistyki miejskiej literatura wskazuje kilka kategorii mechanizmów budowania odporności. Pierwszą grupę stanowią podejścia technologiczno-informacyjne uwzględniające systemy prognozowania popytu, dynamiczne planowanie tras oraz monitorowanie przesyłek w czasie rzeczywistym, które zwiększają elastyczność operacyjną i skracają czas reakcji na zakłócenia (Adewusi i in., 2024; Tabim i in., 2024). Drugą kategorię tworzą mechanizmy zasobowe – nadmiarowość floty i elastyczne modele zatrudnienia kurierów – pozwalające na szybką rekonfigurację systemu po wystąpieniu zakłócenia, lecz generujące wysokie koszty stałe. Trzecią, rzadziej opisywaną w literaturze, stanowią rozwiązania przestrzenno-infrastrukturalne: konfiguracja węzłów dystrybucyjnych, skrócenie promienia operacyjnego oraz projektowanie sieci blisko klienta końcowego, które ograniczają złożoność systemu jeszcze przed wystąpieniem zakłócenia (Macharis i Kin, 2017; Novotná i in., 2022). Ta ostatnia kategoria odpowiada logice odporności proaktywnej wbudowanej w architekturę systemu.

2.2. Mikrohuby jako element logistyki szybkich dostaw w mieście

Mikrohuby logistyczne wpisują się w koncepcję proaktywnie budowanej odporności systemu logistyki ostatniej mili. Koncepcja mikrohubów wywodzi się z badań nad miejskimi centrami konsolidacji (UCC – *Urban Consolidation Centres*), których celem było ograniczenie liczby pojazdów w centrach miast oraz redukcja emisji (Browne i in., 2005; Marcucci i Danielis, 2008). Mikrohub stanowi lokalne rozwinięcie idei miejskich centrów konsolidacji. Jest węzłem dystrybucyjnym umiejscowionym bliżej klienta końcowego, integrującym funkcje konsolidacji ładunków, buforowania zapasów oraz inicjowania dostaw ostatniej mili.

W literaturze mikrohuby analizowane są głównie jako instrument polityki miejskiej, którego skuteczność zależy od konfiguracji interesariuszy zaangażowanych w jego tworzenie i wykorzystanie oraz od wsparcia instytucjonalnego (Akgün i in., 2020; Kiba-Janiak, 2016; van Duin i in., 2018). Współczesne badania koncentrują się na modelach lokalizacyjnych i problemach dwupoziomowego trasowania (Dereli i in., 2025; Novotná i in., 2022), dekarbonizacji transportu miejskiego (Holguín-Veras i in., 2025) oraz autonomizacji operacji dostawczych (Shaklab i in., 2023). W kontekście szybkich dostaw mikrohuby postrzegane są przede wszystkim jako narzędzie skracania dystansu i czasu realizacji usługi (Gund i Daniel, 2024).

Pomimo rosnącej liczby badań, mikrohuby konceptualizowane są dotychczas niemal wyłącznie jako instrument poprawy efektywności kosztowej, środowiskowej lub przestrzennej – rzadko jako element architektury determinujący odporność operacyjną systemu. Tymczasem ich potencjał w tym wymiarze może być znaczący, o czym świadczą badania w poszczególnych obszarach. Przykładowo, ograniczenie promienia operacyjnego redukuje przestrzeń stanów możliwych zakłóceń trasowania i skraca czas ekspozycji na zmienność miejską (Macharis i Kin, 2017). Konsolidacja strefowa upraszcza problem sekwencjonowania dostaw, obniżając złożoność obliczeniową do poziomu zarządzanego ręcznie lub za pomocą prostych algorytmów (Novotná i in., 2022). Parametryzacja slotów czasowych tworzy „ramy amortyzacji ryzyka” – bufor organizacyjny, które absorbują fluktuacje popytu bez konieczności reaktywnej rekonfiguracji systemu. Wreszcie, oparcie mikrohubu na istniejącej infrastrukturze handlowej eliminuje konieczność inwestycji kapitałowych i umożliwia szybkie skalowanie bez ryzyka infrastrukturalnego (Pan i in., 2021). Łącznie mechanizmy te realizują logikę odporności inżynierskiej w ujęciu proaktywnym: stabilność systemu jest własnością wynikającą z decyzji dotyczących architektury systemu, a nie z możliwości dynamicznej rekonfiguracji zasobów po wystąpieniu zakłócenia (Patnala i in., 2024).

Mimo zarysowanego potencjału, integracja mikrohubów z teorią odporności systemów logistyki miejskiej pozostaje w literaturze prawie nieobecna. Mikrohuby i odporność rozwijały się jako odrębne nurty badawcze – brakuje ujęć łączących konsolidację przestrzenną, architekturę mikrohubową i odporność operacyjną usług ostatniej mili w spójny model projektowy. Luka ta jest szczególnie wyraźna w segmencie szybkich dostaw, w którym presja czasowa i wrażliwość klientów na zakłócenia czynią odporność proaktywną nie tyle pożądaną, ile konieczną własnością systemu. Wypełnienie tej luki stanowi cel niniejszego artykułu.

3. Metoda badawcza

Niniejsze badanie ma charakter eksploracyjno-wyjaśniający. Wykorzystano w nim metodę pojedynczego studium przypadku, która, jak zauważają Glinka i Czakon (2021), jest szczególnie użyteczna w analizie zjawisk słabo ugruntowanych teoretycznie, wielowymiarowych oraz silnie osadzonych w kontekście organizacyjnym. Kryteria te spełnia problem budowania odporności szybkich dostaw w ramach logistyki ostatniej mili przy wykorzystaniu mikrohubów, zwłaszcza w warunkach wysokiej zmienności popytu oraz ograniczeń infrastruktury miejskiej.

Do badania wybrano pilotaż wdrożenia mikrohubów u jednego z detalistów w branży spożywczej. Detalista ten posiada w Polsce 850 placówek w sześciu formatach: hipermarketów, supermarketów, sklepów hurtowo-dyskontowych, osiedlowych i specjalistycznych oraz sklepu internetowego (e-handlu). Działa w modelu omnichannel, czyli zintegrowanym systemie, w którym kanały online i offline funkcjonują w sposób komplementarny, umożliwiając realizację zamówień internetowych z wykorzystaniem infrastruktury sklepów stacjonarnych oraz zapewniając konsumentom spójne doświadczenia.

Wybór pojedynczego studium przypadku jest uzasadniony trojakiemi przesłankami. Po pierwsze, badany fenomen – mikrohub jako mechanizm proaktywnej odporności strukturalnej w logistyce ostatniej mili – nie był dotychczas eksplorowany w literaturze, co odpowiada kryterium nowości zjawiska wskazywanego jako przesłanka wyboru tej metody (Yin, 2018). Po drugie, celem jest zrozumienie mechanizmu przyczynowego – w jaki sposób określone decyzje architektoniczne ograniczają zmienność operacyjną, a nie pomiar skali tego efektu, co przemawia na rzecz jakościowej rekonstrukcji logiki systemu. Po trzecie, analizowane wdrożenie stanowiło unikalny przypadek, gdyż mikrohub nie był nowym obiektem infrastrukturalnym, lecz funkcją nadaną istniejącej jednostce detalicznej, co umożliwiało obserwację odporności jako efektu rekonfiguracji architektury przepływu, a nie inwestycji kapitałowej. Ograniczenie generalizacji statystycznej jest zatem świadomym wyborem metodycznym wynikającym z eksploracyjnego charakteru badań i pozwala na generalizację analityczną, tj. uogólnianie wniosków na poziomie teorii, nie populacji (Yin, 2018).

Przedmiotem badania była rekonstrukcja sposobu, w jaki architektura mikrohubowa oraz przestrzenna konsolidacja przepływów wpłynęły na ograniczanie zmienności operacyjnej i stabilizację funkcjonowania systemu szybkich dostaw na poziomie całej struktury logistycznej w Warszawie. W tym przypadku mikrohuby nie były nową infrastrukturą, lecz funkcją nadpisaną na istniejącą jednostkę sprzedaży detalicznej, co pozwoliło na ponowne zaprojektowanie systemu szybkich dostaw towarów zakupionych online oraz przeanalizowanie odporności systemu jako efektu rekonfiguracji architektury przepływu.

Podstawową metodą była obserwacja uczestnicząca. Materiał empiryczny obejmował dokumentację projektową i wdrożeniową pilotażu: raport końcowy, dokumentację etapową, rejestry operacyjne, notatki z rozmów z klientami i członkami zespołu oraz materiał fotograficzny z każdej fazy testów. Dane ilościowe pełniły funkcję ilustracyjną, nieoptymalizacyjną, dzięki czemu badanie lokuje się bliżej nurtu projektowego niż klasycznej ewaluacji wydajności systemu logistycznego detalisty.

4. Architektura odporności szybkich dostaw z mikrohubem – wyniki badania

W części projektowania odporności proaktywnej analiza koncentruje się na trzech warstwach konstrukcyjnych modelu: przestrzenno-infrastrukturalnej, procesowej oraz technologicznej, które w modelu mikrohubowym mają za zadanie ograniczyć zmienność przestrzenną, czasową i informacyjną (tab. 1).

Tabela 1. Architektura modelu mikrohubowego i jej funkcja w redukcji złożoności systemu

Wymiar odporności	Element organizacyjny	Mechanizm redukcji złożoności
przestrzenno-infrastrukturalny	mikrohub = sklep jako węzeł dystrybucyjny	brak potrzeby nowej infrastruktury, skrócenie czasu dostępu do towaru
procesowy	manualna sekwencja trasy + ograniczona strefa + multi-drop	uproszczenie TSP do logiki możliwej manualnie (3-5 przystanków/trasę)
technologiczny	<i>track & trace</i> (T&T) – RFID + monitoring temperatury + telemetria	pełna kontrola kontenera i ryzyka jakościowego dostawy w czasie rzeczywistym

Źródło: badania własne.

4.1. Warstwa przestrzenno-infrastrukturalna – redukcja entropii przestrzennej

Pierwszym poziomem projektowania odporności systemu szybkich dostaw w mieście była warstwa przestrzenno-infrastrukturalna. Ponieważ obszar miasta charakteryzuje się wysoką entropią przestrzenną operacji ostatniej mili, przejawiającą się dużą liczbą możliwych punktów rozpoczęcia i zakończenia tras oraz znaczną zmiennością dystansu i czasu przejazdu w ramach jednego cyklu dostaw, wzmocnienie odporności systemu polegało na ograniczeniu geograficznego zakresu działania poprzez zmniejszenie promienia operacyjnego oraz wprowadzenie mikrohubów w istniejących placówkach handlowych jako centrów przeładunku. Ograniczenie strefy operacyjnej zmniejszało liczbę wariantów tras oraz zakres zmienności czasu przejazdu, dzięki czemu problem trasowania – w istocie problem komiwojażera (TSP – *Travelling Salesman Problem*) – upraszczał się do skali obsługiwanego bez dynamicznej optymalizacji. Tam, gdzie pełny TSP wymaga algorytmów obliczeniowych, ograniczony promień i mała liczba punktów obsługi redukowały złożoność do poziomu dostępnego dla operatora logistycznego realizującego usługi dostawy.

4.2. Warstwa procesowa – kontrola zmienności operacyjnej

Drugim poziomem projektowania odporności była warstwa procesowa. Model opierał się na stałej granulacji slotów operacyjnych (okna 2-godzinne), ograniczonej liczbie dostaw w jednym cyklu (3-5 przystanków) oraz maksymalnej masie i liczbie produktów w zamówieniu. Zmienność operacyjną rozumiano jako odchylenie czasu realizacji dostawy, liczby operacji kompletacyjnych oraz obciążenia trasy od wartości planowanych, a jej kontrola polegała na ograniczaniu zakresu tych odchyleń w obrębie pojedynczego slotu. Parametry te były świadomie dobranymi zmiennymi konstrukcyjnymi, których celem było utrzymanie niskiej zmienności czasowej oraz przewidywalnej struktury tras. Ograniczona liczba zmiennych umożliwiała ręczne sekwencjonowanie dostaw, dzięki czemu redukcja złożoności została osiągnięta poprzez standaryzację procesu, a nie poprzez zwiększanie mocy obliczeniowej ani adaptacyjności algorytmicznej. W rezultacie problem trasowania przyjmował charakter deterministyczny, niewymagający dynamicznej rekonfiguracji w czasie rzeczywistym. Stabilność modelu wzmacniał także jasny podział ról: pracownicy sklepu odpowiadali za kompletowanie i pakowanie zamówień, natomiast operator logistyczny za planowanie trasy i realizację dostaw do klientów.

Tabela 2. Parametry procesowe jako mechanizmy kontroli zmienności

Wymiar projektowy	Założenie wstępne (efektywność)	Zmiana po zakłóceniu (odporność)
Cel operacyjny	maksymalizacja wykorzystania jednostkowego pojazdu	minimalizacja podatności operacyjnej na zmienność
Logika konsolidacji	grupowanie zamówień przede wszystkim w czasie	grupowanie zamówień przestrzennie (strefy) – sloty jako narzędzie, nie cel
Rola lokalnych punktów	sklep = punkt startowy dostaw	sklep = mikrohub konsolidacyjny
Logika trasy	ciągłość pracy EV ¹ (czas / zasięg)	priorytet skrócenia / wydłużenia promienia operacyjnego
Architektura modelu	maksymalizacja wykorzystania zasobów	wbudowana odporność
SLA ² i sloty ³	SLA = 3 h, stałe sloty = 2 h	docelowo SLA = 2 h, sloty jako „ramy amortyzacji ryzyka”

Źródło: badania własne.

¹ EV (*Electric Vehicle*) – pojazd elektryczny (w pilotażu dostawy realizowane były pojazdami elektrycznymi, co wynikało zarówno z wymogów detalisty, jak i założeń projektowych operatora).

² SLA (*Service Level Agreement*) – umowny poziom jakości usługi. W kontekście dostaw SLA określa maksymalny deklarowany czas realizacji zamówienia od momentu jego złożenia do doręczenia go klientowi.

³ Slot – definiowany przedział czasowy, dostępny do wyboru przez klienta przy składaniu zamówienia, pełniący funkcję mechanizmu równoważenia popytu w czasie oraz ograniczania szczytów operacyjnych.

4.3. Warstwa technologiczna – redukcja niepewności jakościowej

Trzeci poziom architektury odporności stanowiła warstwa technologiczna, której główną funkcją było ograniczenie niepewności jakościowej w procesie dostawy. W szybkich dostawach w logistyce ostatniej mili w mieście kluczowe ryzyka obejmują brak kontroli temperatury, możliwość błędnej kompletacji, brak jednoznacznego potwierdzenia przekazania towaru oraz asymetrię informacyjną między operatorem logistycznym a klientem. W analizowanym modelu ograniczano je poprzez identyfikację kontenerów transportowych w technologii RFID (*Radio Frequency IDentification*), umożliwiającej przypisanie zamówienia do konkretnego pojemnika i śledzenie jego obiegu w procesie, monitoring parametrów transportu (*track & trace*, dalej: T&T) oraz temperatury (*sensory Internet of Things*, IoT), a także dokumentację fotograficzną przekazania zamówienia w modelu bezkontaktowym. Rozwiązania te nie służyły przyspieszeniu operacji, lecz stabilizacji jakości procesu, gdyż redukowały asymetrię informacyjną, ograniczały ryzyko reklamacji i zmniejszały niepewność decyzyjną, obniżając entropię informacyjną w logistyce szybkich dostaw w mieście.

4.4. Wbudowanie odporności w system – odporność *ex ante*

W trakcie fazy pilotażowej model funkcjonował w warunkach zwiększonej niepewności związanej z ograniczeniami kontraktowymi oraz zmianami w zachowaniach konsumenckich. Zmiany te wymagały modyfikacji procedur operacyjnych, jednak nie doprowadziły do przebudowy rdzenia architektury modelu. Warto podkreślić, że zakłócenia napotkane w trakcie projektu nie ograniczały się do pandemii COVID-19. Model funkcjonował również w warunkach zakłóceń pogodowych (opady śniegu jesienią i zimą, trudne warunki drogowe), zmiennego natężenia ruchu miejskiego w ciągu dnia, a także wyzwań kadrowych po stronie partnera detalicznego związanych z kompletowaniem zamówień. Fakt, że rdzeń architektury pozostał stabilny wobec tak zróżnicowanego spektrum zakłóceń, wzmacnia tezę o strukturalnym charakterze odporności wbudowanej w model. Kluczowe elementy strukturalne – podział strefowy, ograniczony promień operacyjny, parametryzacja slotów oraz kontrola jakości – pozostały niezmiennie. Adaptacji podlegały wyłącznie procedury interakcji z klientem, w szczególności wprowadzenie bezkontaktowego przekazywania zamówienia oraz dokumentacji fotograficznej realizacji usługi. Przeprojektowanie (*redesign*) miało charakter rozszerzający, a nie transformacyjny. Rdzeń systemu – oparty na ograniczeniu zmienności przestrzennej i czasowej – zachował swoją funkcję stabilizującą mimo zmiany warunków otoczenia. Zestawienie zmian wskazuje, że adaptacja dotyczyła warstwy proceduralnej i kontaktowej, natomiast warstwa przestrzenno-infrastrukturalna oraz podstawowe parametry procesu pozostały niezmiennione.

Tabela 3 przedstawia zakres zmian wprowadzonych w odpowiedzi na zakłócenie oraz wskazuje, które elementy modelu uległy modyfikacji, a które pozostały niezmiennie. Zestawienie stanowi dowód odporności polegającej na tym, że system wymagał jedynie adaptacji procesowej bez konieczności przebudowy fundamentalnej architektury operacyjnej.

Tabela 3. Przeprojektowanie procesu w warunkach zakłócenia pandemicznego

Warstwa systemu	Stan przed zakłóceniem (baseline projektowy)	Element zakłócenia	Zmiana w modelu (<i>redesign ex-ante</i>)	Poziom zmiany (proceduralny / procesowy / projektowy)
architektura usługowa	szybkie dostawy w krótkim horyzoncie czasowym (≤ 3 h), z konsolidacją w mikrohubach strefowych	pojawienie się wymogu dostaw bezkontaktowych	dodanie obowiązkowej dokumentacji fotograficznej zamiast potwierdzenia fizycznego	odporność proceduralna
interakcja klient–dostawca	zakładano kontakt bezpośredni przy drzwiach	preferencje klientów „zero kontaktu”	formalizacja modelu „pod drzwi” + protokół dezynfekcji boxów	odporność usługowa

Warstwa systemu	Stan przed zakłóceniem (baseline projektowy)	Element zakłócenia	Zmiana w modelu (<i>redesign ex-ante</i>)	Poziom zmiany (proceduralny / procesowy / projektowy)
kompletacja w sklepie	standardowe przepływy pracy + <i>pick & pack</i> pod duży wolumen	dodatkowe czynności i obciążenie personelu	przebudowa procesu kompletacji i modyfikacja logiki IT retailera	odporność procesowa
platforma transportowa	gotowa izolowana zabudowa + pojazdy w procesie dostaw z Chin	wydłużenie <i>lead-time</i> pojazdów	brak zmiany modelu; przesunięcie startu walidacji	odporność projektowa
<i>track & trace</i>	T&T projektowane jako standard	wymóg audytu bez podpisu klienta	potwierdzenia fotograficzne + autoryzacja w systemie telematycznym jako dowód (geolokalizacja)	odporność dowodowa

Źródło: badania własne.

Analiza wskazuje, że adaptacja miała charakter rozszerzający, a nie transformacyjny, co oznacza, że rdzeń architektoniczny modelu pozostał stabilny mimo zmian w warunkach otoczenia. Tym samym analizowany przypadek stanowi empiryczny przykład *resilience-by-design*. Odporność została wbudowana w architekturę modelu jeszcze przed pełną walidacją terenową.

5. Dyskusja i wnioski

W dotychczasowych badaniach mikrohuby były analizowane przede wszystkim jako narzędzie poprawy efektywności kosztowej, redukcji emisji oraz optymalizacji lokalizacji w systemach dwuszczeblowych (*two-echelon*) (Dereli i in., 2025; Novotná i in., 2022). Wyniki przedstawionego studium przypadku potwierdzają, że ich funkcja może wykraczać poza wymiar efektywności. Mikrohuby mogą odgrywać rolę ogniwa redukującego złożoność i wzmacniającego stabilność operacyjną systemu szybkich dostaw w ramach logistyki ostatniej mili w mieście.

W literaturze z zakresu budowania odporności w logistyce i łańcuchach dostaw dominuje podejście adaptacyjne, w którym odporność rozumiana jest jako zdolność systemu do rekonfiguracji po wystąpieniu zakłócenia (Ponis i Koronis, 2012; Sheffi i Rice, 2005). W ujęciach transportowych odporność jest operacjonalizowana jako zdolność skrócenia czasu powrotu do stanu równowagi po kryzysie (Gao i Wang, 2021; Patnala i in., 2024). Analizowany przypadek wskazuje jednak na inny mechanizm. Zamiast zwiększania nadmiarowości zasobów lub intensyfikowania dynamicznej optymalizacji, model mikrohubowy redukował liczbę zmiennych operacyjnych poprzez ograniczenie promienia działania oraz parametryzację slotów. Odporność wynikała z uproszczenia architektury, a nie z jej elastyczności. W tym sensie badanie wspiera koncepcję odporności strukturalnej, rozumianej jako właściwość wynikająca z projektowej redukcji złożoności. Dotychczasowe badania nad odpornością koncentrowały się głównie na poziomie całych łańcuchów dostaw lub systemów transportowych (Gao i Wang, 2021; Lagorio i in., 2016). Rzadziej analizowany był poziom operacyjny logistyki ostatniej mili jako autonomiczny system.

Wyniki badania wskazują, że logistyka miejska może wymagać uzupełnienia dominującego paradygmatu optymalizacyjnego o perspektywę projektowania stabilności. Należy podkreślić, że redukcja złożoności jako strategia budowania odporności nie jest pozbawiona kosztów systemowych. Uproszczenie architektury – poprzez skracanie promienia operacyjnego i parametryzację slotów – może ograniczać elastyczność systemu w obsłudze popytu wykraczającego poza zdefiniowane strefy lub okna czasowe. Oznacza to konieczność świadomego kompromisu między efektywnością (maksymalizacją wykorzystania zasobu), elastycznością (zdolnością do obsługi szerokiego spektrum wariantów popytu) a stabilnością (przewidywalnością i powtarzalnością realizacji usługi).

W analizowanym modelu świadomie przystąpiono częściową efektywność na rzecz stabilności. Decyzja ta była uzasadniona specyfiką segmentu szybkich dostaw, w którym niezawodność realizacji usługi ma wyższą wartość dla klienta niż marginalne skrócenie czasu dostawy. Takie ujęcie odpowiada koncepcji „odporności wbudowanej w projekt” (*resilience-by-design*), w której stabilność jest własnością wynikającą ze świadomych założeń projektowych.

Wyniki badania otwierają przestrzeń do szerszej dyskusji nad podziałem na odporność proaktywną i reaktywną jako dwiema fundamentalnie różnymi strategiami projektowania systemów logistycznych. W dominującym nurcie literatury odporność jest konceptualizowana w sposób reaktywny (Gao i Wang, 2021; Sheffi i Rice, 2005). Odporność jest własnością emergentną, która ujawnia się w momencie kryzysu i zależy od zdolności systemu do dynamicznej rekonfiguracji. Analizowany model mikrohubowy reprezentuje odmienne podejście. Odporność jest tu własnością projektową, proaktywnie wbudowaną w architekturę systemu, w celu minimalizacji jego podatności na zakłócenia (Patnala i in., 2024). Rozróżnienie to ma istotne implikacje dla projektowania systemów logistyki miejskiej. Podejście reaktywne jest adekwatne dla systemów, w których zmienność jest trudna do przewidzenia, a koszt utrzymania elastyczności jest akceptowalny. Podejście proaktywne zyskuje natomiast przewagę w kontekstach o wysokiej i przewidywalnej presji czasowej, takich jak szybkie dostawy logistyki ostatniej mili, w których każde zakłócenie operacyjne bezpośrednio uderza w wartość usługi postrzeganą przez klienta.

Niniejsze badanie dowodzi, że wybór między odpornością proaktywną a reaktywną nie jest neutralny, lecz zależy od charakteru zmienności popytu, horyzontu czasowego usługi oraz kosztów nieciągłości operacyjnej. W segmentach o ekstremalnej presji czasowej projektowanie odporności *ex ante* poprzez uproszczenie architektury systemu w wymiarze przestrzennym, czasowym i informacyjnym stanowi istotny element budowania odporności systemu. Badanie stanowi empiryczne potwierdzenie koncepcji odporności inżynierskiej w ujęciu proaktywnym (*engineering resilience*) jako odrębnego mechanizmu budowania stabilności operacyjnej, różnego zarówno od odporności adaptacyjnej (*adaptive resilience*), jak i od klasycznej krzepkości systemu (*robustness*), opartego na nadmiarowości zasobów.

Integracja obu nurtów – mikrohubowego i odpornościowego – otwiera nowy kierunek badań nad projektowaniem odpornych systemów logistyki ostatniej mili w mieście, szczególnie w warunkach rosnącego popytu na szybkie dostawy.

Literatura

- Adewusi, A. O., Komolafe, A. M., Ejairu, E., Aderotoye, I. A., Abiona, O. O. i Oyeniran, O. C. (2024). The Role of Predictive Analytics in Optimizing Supply Chain Resilience: A Review of Techniques and Case Studies. *International Journal of Management & Entrepreneurship Research*, 6(3), 815-837. <https://doi.org/10.51594/ijmer.v6i3.938>
- Akgün, E. Z., Monios, J. i Fonzone, A. (2020). Supporting Urban Consolidation Centres with Urban Freight Transport Policies: A Comparative Study of Scotland and Sweden. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 23(3), 291-310. <https://doi.org/10.1080/13675567.2019.1679743>
- Browne, M., Sweet, M., Woodburn, A. i Allen, J. (2005). *Urban Freight Consolidation Centres. Final Report*. Transport Studies Group, University of Westminster. Pobrano 8 lipca 2026 z https://ukerc.rl.ac.uk/publications/project_report/RR3_Urban_Freight_Consolidation_Centre_Report.pdf
- Cheba, K. i Saniuk, S. (2016). Sustainable Urban Transport – The Concept of Measurement in the Field of City Logistics. *Transportation Research Procedia*, 16, 35-45. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.11.005>
- Dereli, B. U., Hiermann, G. i Schiffer, M. (2025). *Solving Large-Scale Two-Echelon Location Routing Problems in City Logistics*. arXiv:2502.08403. <https://arxiv.org/pdf/2502.08403>
- Du, Y., Wang, H., Gao, Q., Pan, N., Zhao, C. i Liu, C. (2022). Resilience Concepts in Integrated Urban Transport: A Comprehensive Review on Multi-Mode Framework. *Smart and Resilient Transportation*, 4(2), 105-133. <https://doi.org/10.1108/SRT-06-2022-0013>

- Gao, Y. i Wang, J. W. (2021). A Resilience Assessment Framework for Urban Transportation Systems. *International Journal of Production Research*, 59(7), 2177-2192. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1847339>
- Glinka, B. i Czakon, W. (2021). *Podstawy badań jakościowych*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
- Gund, H. P. i Daniel, J. (2024). Q-Commerce or E-Commerce? A Systematic State of the Art on Comparative Last-Mile Logistics Greenhouse Gas Emissions Literature Review. *International Journal of Industrial Engineering and Operations Management*, 6(3), 185-207. <https://doi.org/10.1108/IJIEOM-01-2023-0001>
- Holguín-Veras, J., de Oliveira, L. K., Calderón, O. i González-Calderón, C. (2025). Research Priorities for the Decarbonization of Freight Transportation in Latin America. *Latin American Transport Studies*, 3, 100023. <https://doi.org/10.1016/j.latran.2024.100023>
- Iwan, S. i Kijewska, K. (2014). The Integrated Approach to Adaptation of Good Practices in Urban Logistics Based on the Szczecin Example. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 125, 212-225. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.1468>
- Jedliński, M. (2014). The Position of Green Logistics in Sustainable Development of a Smart Green City. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 151, 102-111. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.10.011>
- Kiba-Janiak, M. (2016). Key Success Factors for City Logistics from the Perspective of Various Groups of Stakeholders. *Transportation Research Procedia*, 12, 557-569. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.011>
- Lagorio, A., Pinto, R. i Golini, R. (2016). Research in Urban Logistics: A Systematic Literature Review. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 46(10), 908-931. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-01-2016-0008>
- Lin, Y., Chen, A., Zhong, S., Giannikas, V., Lomas, C. i Worth, T. (2023). Service Supply Chain Resilience: A Social-Ecological Perspective on Last-Mile Delivery Operations. *International Journal of Operations & Production Management*, 43(1), 140-165. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-03-2022-0180>
- Macharis, C. i Kin, B. (2017). The 4 A's of Sustainable City Distribution: Innovative Solutions and Challenges Ahead. *International Journal of Sustainable Transportation*, 11(2), 59-71. <https://doi.org/10.1080/15568318.2016.1196404>
- Marcucci, E. i Danielis, R. (2008). The Potential Demand for a Urban Freight Consolidation Centre. *Transportation*, 35(2), 269-284. <https://doi.org/10.1007/s11116-007-9147-3>
- Novotná, M., Švadlenka, L., Jovčić, S. i Simić, V. (2022). Micro-Hub Location Selection for Sustainable Last-Mile Delivery. *PLOS ONE*, 17(7), e0270926. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0270926>
- Pan, S., Zhou, W., Piramuthu, S., Giannikas, V. i Chen, C. (2021). Smart City for Sustainable Urban Freight Logistics. *International Journal of Production Research*, 59(7), 2079-2089. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1800706>
- Patnala, P. K., Regehr, J. D., Mehran, B. i Regoui, C. (2024). Resilience for Freight Transportation Systems to Disruptive Events: A Review of Concepts and Metrics. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 51(3), 237-263. <https://doi.org/10.1139/cjce-2023-0187>
- Ponis, S. T. i Koronis, E. (2012). Supply Chain Resilience: Definition of Concept and Its Formative Elements. *Journal of Applied Business Research (JABR)*, 28(5), 921-930. <https://doi.org/10.19030/jabr.v28i5.7234>
- Quiter, D., Engelhardt, M., Malzahn, B. i Seeck, S. (2025). Best Practices for Implementing Sustainable Urban Logistics – The Case of Freight Consolidation for a Berlin Industrial Area. *Transportation Research Procedia*, 90, 854-862. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2025.06.051>
- Rocher, G., Tigli, J.-Y., Lavirotte, S. i Ferry, N. (2024). A Framework Towards Assessing the Resilience of Urban Transport Systems. W: *Proceedings of the 19th International Conference on Availability, Reliability and Security (ARES 2024)*. Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3664476.3670435>
- Shaklab, E., Karapetyan, A., Sharma, A., Mebrahtu, M., Basri, M., Nagy, M., Khonji, M. i Dias, J. (2023). *Towards Autonomous and Safe Last-Mile Deliveries with AI-Augmented Self-Driving Delivery Robots*. arXiv:2305.17705. <https://arxiv.org/pdf/2305.17705>
- Sheffi, Y. i Rice, J. B. Jr. (2005). *A Supply Chain View of the Resilient Enterprise*. MIT Sloan Management Review. Pobrano 10 lipca 2026 z <https://sloanreview.mit.edu/article/a-supply-chain-view-of-the-resilient-enterprise/>
- Ta, C., Goodchild, A. V. i Pitera, K. (2009). Structuring a Definition of Resilience for the Freight Transportation System. *Transportation Research Record*, 2097(1), 19-25. <https://doi.org/10.3141/2097-03>
- Tabim, V. M., Franco, C. W. i Hoerde, J. P. (2024). Digital Transformation in E-Commerce Logistics: A Case Study on the Digital Maturity of the Last-Mile Area. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, (1), 1641. <https://doi.org/10.14488/BJOPM.1641.2024>
- Tan, W., Sun, Y., Ding, Z. i Lee, W.-J. (2022). Fleet Management and Charging Scheduling for Shared Mobility-on-Demand System: A Systematic Review. *IEEE Open Access Journal of Power and Energy*, 9, 425-434. <https://doi.org/10.1109/OAJPE.2022.3215865>
- Taniguchi, E., Thompson, R. G. i Yamada, T. (2010). Incorporating Risks in City Logistics. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 2(3), 5899-5910. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.04.005>

- Tavasszy, L. (2024). Decarbonization and Freight Transport Planning. W: L. Tavasszy, M. Browne i M. Piecyk (red.), *Freight Transport Planning (Advances in Transport Policy and Planning, t. 14, s. 117-148)*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.atpp.2024.09.006>
- van Duin, R., Slabbekoorn, M., Tavasszy, L. i Quak, H. (2018). Identifying Dominant Stakeholder Perspectives on Urban Freight Policies: A Q-Analysis on Urban Consolidation Centres in the Netherlands. *Transport*, 33(4), 867-880. <https://doi.org/10.3846/16484142.2017.1350996>
- Weber-Snyman, A. i Badenhorst-Weiss, J. (2016). Challenges in Last Mile Logistics of E-Grocery Retailers: A Developing Country Perspective. In *Conference: The International Purchasing and Supply Education and Research Association (IPSERA)*.
- Węgrzynek, D. K. i Cichosz, M. (2025). Efektywna i zrównoważona logistyka ostatniej mili produktów spożywczych z perspektywy praktyki. *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, (1), 52-64. <https://doi.org/10.33226/1231-2037.2025.1.5>
- Yang, C., Maknoon, M. Y., Jiang, H. i Sharif Azadeh, S. (2025). Integrated Mobile Inventory and Fleet Management for an On-Demand Delivery System. *Transportation Research: Part C: Emerging Technologies*, 179, 105264. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2025.105264>
- Yin, R. K. (2018). *Case Study Research and Applications. Design and Application* (wydanie 6.). Sage.

Designing Resilient Last-Mile Logistics for Urban Quick Commerce through Microhubs

Abstract

Aim: The purpose of this paper is to investigate how the use of urban microhubs in last-mile delivery affects the resilience of quick-commerce online grocery deliveries within urban logistics.

Methodology: The study adopts a qualitative research approach. To explore the cause-and-effect relationships in urban quick-commerce, the authors conducted a single-case study of a pilot microhub implementation by a grocery retailer operating both physical and online stores. Within the pilot project, selected brick-and-mortar stores served as microhubs that consolidated online orders for last-mile delivery to consumers. The analysis draws on the authors' participative observation, operational data, project documentation, and interviews with key project participants.

Results: The findings suggest that operational stability in urban quick-commerce deliveries within last-mile logistics can be achieved primarily by simplifying the system structure. The microhub model reduces spatial, temporal, and informational variability by limiting delivery radius, standardizing delivery processes, and decreasing uncertainty through monitoring technologies. As a result, the system exhibits lower decision-making complexity and greater delivery predictability under volatile demand and operational uncertainty.

Implications and recommendations: The study indicates that resilience in last-mile logistics can be designed as an inherent structural property of the system (resilience-by-design), achieved through complexity reduction rather than resource redundancy and/or increased system flexibility. The findings highlight the need to integrate microhub research with structural approaches to resilience. From a managerial perspective, the results suggest the potential of designing simplified operational systems as an alternative to models that rely heavily on algorithmic optimization.

Originality/value: This paper is among the first to link urban microhubs with resilience theory in urban logistics and to introduce the concept of structural resilience in last-mile delivery systems. It demonstrates that microhubs may serve not only to improve efficiency but also to reduce operational complexity and enhance system resilience.

Keywords: urban microhub, quick commerce, last-mile delivery, urban logistics, resilience
