PRACE NAUKOWE
Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu
RESEARCH PAPERS
of Wrocław University of Economics and Business

Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu
Research Papers of Wroclaw University of Economics and Business
Year 2024, Vol. 68, No. 5
ISSN 2392-0041
journals.ue.wroc.pl/pn

Praktyczne podejście do geometrycznego projektowania sieci automatów paczkowych z uwzględnieniem preferencji użytkowników na przykładzie Zielonej Góry

Mateusz Kurowski

Uniwersytet Zielonogórski

e-mail: m.kurowski@wez.uz.zgora.pl

ORCID: 0000-0002-9979-6517

Wiesław Wasilewski

Uniwersytet Zielonogórski

e-mail: w.wasilewski@wez.uz.zgora.pl

ORCID: 0000-0001-8772-7656

© 2024 Mateusz Kurowski, Wiesław Wasilewski

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: Kurowski, M. i Wasilewski, W. (2024). Praktyczne podejście do geometrycznego projektowania sieci automatów paczkowych z uwzględnieniem preferencji użytkowników na przykładzie Zielonej Góry. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, *68*(5), 81-91.

DOI: 10.15611/pn.2024.5.07

JEL: L91, L87

Streszczenie

Cel: Celem artykułu jest przedstawienie projektu sieci automatów paczkowych zwiększającego ich dotychczasowy zasięg w wybranej części miasta Zielona Góra, który ma być stworzony poprzez zbadanie preferencji użytkowników, a następnie wykorzystanie pozyskanych informacji do stworzenia wstępnej wersji trójkątnej sieci automatów paczkowych.

Metodyka: Na potrzeby badań przeprowadzono studia literatury, ankietę, a także analizę statystyczną.

Wyniki: W przypadku Zielonej Góry utworzenie sieci gwarantującej odległość do automatu paczkowego do 300 m zadowalałaby 75% użytkowników i jednocześnie nie wiązałaby się z nadmiernymi

kosztami praktycznej realizacji. Trójkątna sieć automatów paczkowych stworzona na podstawie tego parametru miałaby o 45,79% większy zasięg od funkcjonującej obecnie.

Implikacje i rekomendacje: Podczas projektowania sieci automatów paczkowych należy przede wszystkim rozpoznać preferencje użytkowników w zakresie możliwości regularnego pokonywania dystansu pieszo lub rowerem. Ponadto, oprócz zaawansowanych metod optymalizacyjnych, warto korzystać również z prostych metod geometrycznych, zwłaszcza w początkowej fazie tworzenia projektu.

Oryginalność/wartość: Przeprowadzone badania przedstawiają, w jaki sposób należy badać i uwzględniać preferencje użytkowników w projektowaniu sieci automatów paczkowych o optymalnej gęstości.

Słowa kluczowe: automaty paczkowe, logistyka ostatniej mili, optymalizacja sieci

1. Wstęp

Istotny wpływ na rosnącą liczbę wykonywanych operacji logistycznych ma wzrost światowej produkcji, rozwój technologiczny, globalizacja, a także, zauważalny od wielu lat, rozwój sektora e-commerce (Majchrzak-Lepczyk, 2022, s. 78). Konsumenci coraz chętniej dokonują zakupów przez Internet, rosną też ich oczekiwania co do sposobu realizacji dostaw i swobody w zakresie zwrotów zakupionych produktów. Wygoda nabywców w tym zakresie wymaga jednak wypracowania odpowiednich rozwiązań i poniesienia określonych nakładów. W tym kontekście szczególną uwagę należy zwrócić na logistykę ostatniej mili. Choć w ujęciu geograficznym odpowiada ona za niewielki odcinek, to z perspektywy kosztów jest to najistotniejsza faza całego procesu dostawy, mogąca odpowiadać nawet za 50% jego całkowitych kosztów (Sorooshian i in., 2022, s. 2).

Duży potencjał w optymalizacji logistyki ostatniej mili mają automaty paczkowe. Urządzenia te pozwalają na ograniczenie punktów postoju kuriera, dzięki czemu dostawy mogą być szybsze i generować niższe koszty. W początkowym okresie tworzenia sieci automatów paczkowych powstanie każdego nowego automatu pozwalało na uzyskanie istotnych korzyści zarówno dla użytkowników, jak i przedsiębiorstw kurierskich. Dzięki nim usługa dostaw do automatów paczkowych, wraz ze wszystkimi jej zaletami, stawała się dostępna dla określonej społeczności. Dla przedsiębiorstwa świadczącego usługi kurierskie nowy automat paczkowy oznaczał jeden dłuższy postój zamiast wielu innych, które wcześniej musiały być realizowane w okolicy. Na pewnym etapie rozwoju sieci wspomniane korzyści nie są już tak wyraźne i należy zadać sobie następujące pytanie: jaka gęstość automatów paczkowych pozwala na pełne wykorzystanie ich potencjału w zakresie usprawnienia logistyki ostatniej mili?

Sieć automatów paczkowych powinna być tak gęsta, by zapewnić możliwość regularnego odbioru przesyłek pieszo lub rowerem. Istotność tego założenia jest najczęściej pomijana w literaturze. Potencjał optymalizacyjny prostych metod geometrycznych jest często niedostrzegany przez autorów.

Na potrzeby niniejszej analizy sformułowano następujący problem badawczy: w jaki sposób można zaprojektować sieć automatów paczkowych w przedstawionej na rys. 1 badanej części Zielonej Góry, by zwiększyć jej zasięg przy niezmienionej liczbie automatów? Celem artykułu jest przedstawienie projektu sieci automatów paczkowych zwiększającego ich dotychczasowy zasięg w wybranej części miasta Zielona Góra poprzez zbadanie preferencji użytkowników, a następnie wykorzystanie pozyskanych informacji do stworzenia wstępnej wersji trójkątnej sieci automatów paczkowych. Sformułowano następującą hipotezę badawczą: zastosowanie trójkątnej sieci automatów paczkowych w badanej części Zielonej Góry zwiększa zasięg sieci przy niezmienionej liczbie automatów paczkowych.

Przed przejściem do głównej części badań należy zapoznać się z aktualnymi badaniami na temat automatów paczkowych i preferencji ich użytkowników.

2. Funkcjonowanie sieci automatów paczkowych w świetle badań naukowych

Automaty paczkowe, często nazywane paczkomatami, to urządzenia umożliwiające samodzielny odbiór lub nadanie przesyłki w wybranym czasie (Lagorio i Pinto, 2020, s. 2). Użytkownicy mają tez możliwość wyboru konkretnego automatu paczkowego, z którego chcą skorzystać. Zalety automatów paczkowych są dostrzegane już od wielu lat (Niedzielski i Rychlik, 2006, s. 20), dlatego też cieszą się one rosnącym zainteresowaniem. Szczególnie jest to widoczne właśnie w Polsce, gdzie pierwszy automat paczkowy uruchomiono w 2009 r. (Szeląg, 2016, s. 323). Od tego czasu rozbudowano krajową sieć do ponad 38 tys. urządzeń, a do końca 2024 r. liczba ta ma wzrosnąć do 45 tys. (Colliers, 2024, s. 4).

Wraz z rozwojem sieci automatów paczkowych naukowcy coraz częściej badają ich potencjał w logistce ostatniej mili (Iwan i in., 2016; Niederprüm i van Lienden, 2021; Zurel i in., 2018). Stwierdzono, że dzięki automatom paczkowym można zmniejszyć koszty dostawy o 16% (van Duin i in., 2020, s. 44) i ograniczyć emisję gazów cieplarnianych nawet o 2/3 w porównaniu z dostawą „pod drzwi" (Giuffrida i in., 2016, s. 227).

W badaniach dostrzega się również znaczenie preferencji użytkowników w wykorzystaniu potencjału sieci automatów paczkowych. Wiele analiz dotyczy powodów, dla których użytkownicy korzystają właśnie z automatów paczkowych (Lemke i in., 2016, s. 279; Molin i in., 2022, s. 188), doświadczeń związanych z ich wykorzystaniem (Yusuf i in., 2019, s. 4) czy czynników decydujących o satysfakcji z użytkowania automatów paczkowych (Cieśla, 2023, s. 2670; Po-Lin i in., 2021, s. 28). Jednakże jeśli chodzi o kwestię pokonywanego do automatów paczkowych dystansu, to raczej bada się stan obecny, a nie preferencje użytkowników. W tym przypadku okazuje się na przykład, że 40% użytkowników bardzo dobrze ocenia lokalizację automatów paczkowych, ale część osób chętniej by z nich korzystała, gdyby lokalizacja się poprawiła (Lemke i in., 2016, s. 282).

Kluczowe dla niniejszych badań i prowadzonych rozważań na temat możliwości do pokonywania dystansu do automatów paczkowych pieszo lub rowerem są następujące spostrzeżenia:

- z ekologicznego punktu widzenia zastosowanie automatów paczkowych jest tym bardziej uzasadnione, jeśli mniej użytkowników dojeżdża do nich samochodem (Schneider i in., 2021, s. 18);
- wrażliwość użytkowników na pokonywanie określonego dystansu do automatów paczkowych jest ważnym czynnikiem, który należy uwzględnić w modelowaniu sieci (Lin i in., 2021, s. 21).

Mimo że powyższe uwagi jednoznacznie wskazują na konieczność rozpoznania preferencji użytkowników w zakresie akceptowalnego dystansu do automatów paczkowych, nie jest to realizowane. W badaniach dotyczących projektowania i optymalizacji sieci automatów paczkowych najczęściej arbitralnie przyjmuje się określoną wartość. Czasami jest to 150 m (Wang, 2022, s. 10), czasami – jak w przypadku Singapuru – 250 m (Lyu i Teo, 2021, s. 4). Ciekawym podejściem jest planowanie sieci automatów paczkowych na podstawie prostokątnych pól o wymiarach 250 na 500 m (Kahr, 2022, s. 7). Wartości te są najważniejszym parametrem, jaki należy uwzględnić podczas projektowania sieci. To one decydują o jej gęstości, wykorzystaniu i kosztach funkcjonowania.

Sieć automatów paczkowych o odpowiedniej gęstości to też sieć o optymalnym zasięgu i działająca w sposób ekonomiczny, czyli pozwalający na osiągnięcie najkorzystniejszego stosunku efektów do nakładów (Pszczołowski, 1978, s. 263). Ekonomicznie działająca sieć automatów paczkowych to taka, która spełnia swoją funkcję operacyjną dla jak największej grupy odbiorców przy jak najmniejszych nakładach. Na tym etapie rozważań pojawia się konflikt interesów między stroną popytową i podażową usługi. Użytkownikom automatów paczkowych zależy na tym, by urządzeń tych było jak najwięcej. W interesie dostawców jest, by punktów postoju było jak najmniej. Jeśli automatów paczkowych będzie zbyt dużo, to w skrajnej sytuacji z perspektywy nakładów nie będzie się to wyraźnie odróżniało od

dostaw „pod drzwi". Wówczas duża liczba postojów kuriera będzie wydłużała czas i zwiększała ilość zużytej energii koniecznej do realizacji dostaw. Jeśli będzie ich zbyt mało, to ich potencjał w zakresie logistyki ostatniej mili zostanie wykorzystany tylko pozornie i to z perspektywy dostawcy, którego udziałem stanie się ograniczenie zużycia energii, poświęconego czasu i emitowanych zanieczyszczeń. Koszty te zostaną przesunięte na odbiorców usług i najprawdopodobniej będą one sumarycznie istotnie większe niż w przypadku dostaw „pod drzwi".

W niniejszych badaniach przeprowadzono optymalizację sieci automatów paczkowych wynikającą ze zwiększenia jej łącznego zasięgu, poprzedzając to badaniami preferencji użytkowników.

3. Metodyka badań

W pierwszej fazie badań rozpoznano preferencje użytkowników automatów paczkowych za pomocą ankiety przeprowadzonej w marcu i kwietniu 2022 r. wśród mieszkańców województwa lubuskiego. Badana populacja to 997 493 osoby, spośród których 51,47% to kobiety. Mieszkańcy wsi stanowili 35,84% populacji, miast do 50 tys. mieszkańców – 38,60%, a miast powyżej 50 tys. mieszkańców – 25,56%. Kwestionariusz ankiety rozesłano pocztą elektroniczną do 720 osób, dobranych celowo – dokonujących zakupów przez Internet. Uzyskano zwrotność na poziomie 27,78%. Strukturę próby zaprezentowano w tab. 1.

Tabela 1. Struktura próby badawczej

	Liczba	Udział [%]
PŁEĆ		
Kobieta	98	49,0
Mężczyzna	102	51,0
MIEJSCE ZAMIESZKANIA		
Wieś	63	31,5
Miasto do 50 tys. m.	59	29,5
Miasto pow. 50 tys. m.	78	39,0
RAZEM	200	100

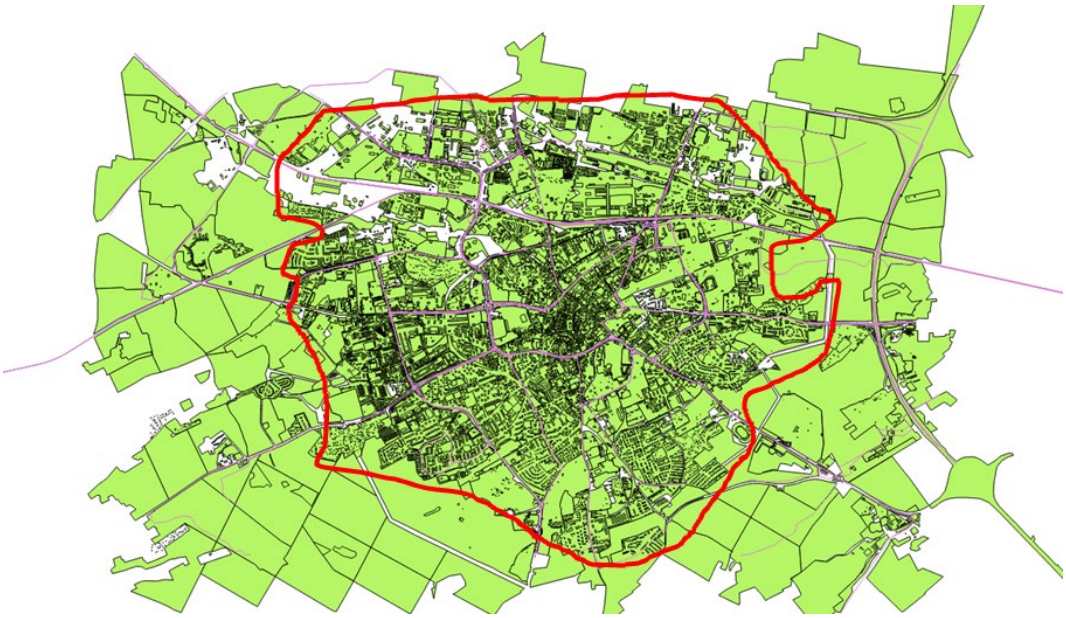
Źródło: opracowanie własne.

Analizę sieci automatów paczkowych przeprowadzono na podstawie zielonogórskiej sieci automatów paczkowych głównego dostawcy tego typu usług. Dokładną lokalizację automatów paczkowych wyznaczono najpierw na podstawie adresów zamieszczonych na stronie przedsiębiorstwa (Inpost, 2023), a następnie za pomocą serwisu Google Maps odczytano precyzyjne współrzędne geograficzne. Koordynaty naniesiono na mapę Zielonej Góry pozyskaną z serwisu OpenStreetMap w programie QGIS w wersji 2.14.12.

Ze względu na specyfikę topografii poszczególnych dzielnic i osiedli Zielonej Góry, zwłaszcza po rozszerzeniu granic miasta 1 stycznia 2015 r., zdecydowano się poddać analizie zwartą i zurbanizowaną część miasta ograniczoną w przybliżeniu:

- od północy – Trasą Północną,
- od południa – linią: Amfiteatr – róg ul. Kożuchowskiej i Żytniej – Stadion Żużlowy,
- od wschodu – linią przylegająca do zabudowań, maksymalnie do linii wysokiego napięcia przecinającej Szosę Kisielińską,
- od zachodu – linią przylegającą do zabudowań między innymi przy ul. Wyczółkowskiego i ul. Cytrynowej.

Analizowany obszar zajmuje powierzchnię 18,825 km^2 – przedstawiono go na rys. 1.



Rys. 1. Zakres analizowanego obszaru Zielonej Góry

Źródło: opracowanie własne.

W badaniach wykorzystano podejście zarówno ilościowe, jak i jakościowe. Po pierwsze, istotne było wyznaczenie odpowiedniej liczby automatów paczkowych przy określonych preferencjach użytkowników. Po drugie, przeprowadzono próbę ich optymalnego rozmieszczenia na mapie badanego obszaru Zielonej Góry. Po trzecie, przeprowadzono analizę porównawczą mającą na celu przedstawienie różnic między aktualną a proponowaną siecią automatów paczkowych. Metody badawcze, jakie wykorzystano na potrzeby przeprowadzonej analizy, to: studia literatury, ankieta oraz metoda statystyczna.

Przy projektowaniu sieci automatów paczkowych przyjęto następujące założenia:

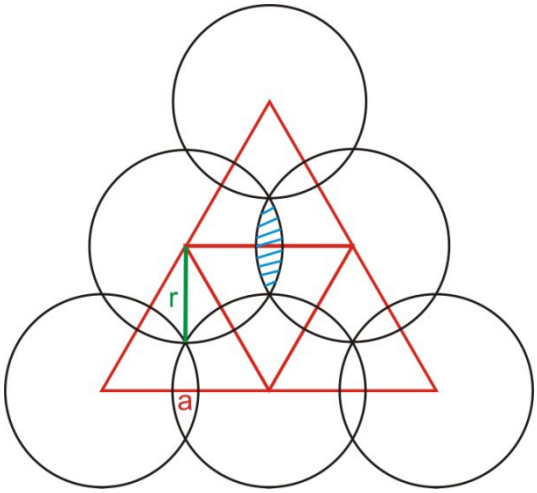
1. Odbiór pieszo lub rowerem jest przez autorów rozumiany jako pełny zbiór możliwości innych niż przy użyciu pojazdu silnikowego. Jako przyczynę należy wskazać, iż literalne wskazanie hulajnogi, deskorolki i innych miałoby dwie negatywne konsekwencje. Kwestionariusz ankiety stałby się mało przejrzysty, a stworzenie pełnej listy i tak mogłoby okazać się niemożliwe.
2. Odbiór przesyłek z automatów paczkowych pieszo lub rowerem jest kluczowy dla wykorzystania potencjału automatów paczkowych w logistyce ostatniej mili.
3. Zasięg automatu paczkowego to kolisty obszar, wewnątrz którego określony odsetek użytkowników regularnie pokonuje dystans do danego automatu pieszo lub rowerem. Odsetek użytkowników wyznaczany jest arbitralnie na podstawie preferencji ankietowanych. Zasięg wszystkich automatów paczkowych jest taki sam.
4. Zaproponowana metoda służy do stworzenia sieci wyjściowej, którą należy zweryfikować i zmodyfikować zgodnie z możliwościami i potrzebami.
5. Pomijana jest gęstość zaludnienia – problem dostępności automatów paczkowych był przedmiotem badań na wcześniejszym etapie (Sobolewski, 2023, s. 164).
6. Przyjmując określoną maksymalną odległość automatu paczkowego od miejsca zamieszkania, należy ją zapewnić każdemu – w praktyce można z tego warunku zrezygnować, zwłaszcza przy modyfikowaniu wstępnej wersji sieci i tworzeniu jej wersji finalnej.

Do zaprojektowania sieci automatów paczkowych wykorzystano metodę opracowaną na wcześniejszych etapach badań (Kurowski i in., 2023, s. 11-14). Wyznaczenie odpowiedniej liczby automatów paczkowych dla danego obszaru przeprowadzono według formuły (Kurowski i in., 2023, s. 13):

$$n = \left(\frac{\frac{6P}{r^2} - 6\pi + 9\sqrt{3}}{2\pi + 6\sqrt{3}} \right),$$

gdzie: n – liczba paczkomatów koniecznych do pokrycia danego obszaru, P – pole obszaru, r – promień zasięgu jednego automatu paczkowego determinowany przez preferencje użytkowników.

Samego rozmieszczenia automatów paczkowych dokonano zgodnie z założeniami sieci trójkątnej, która jest bardziej efektywna od kwadratowej (Kurowski i in., 2023, s. 11-14). Schemat sieci trójkątnej przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Schemat sieci trójkątnej

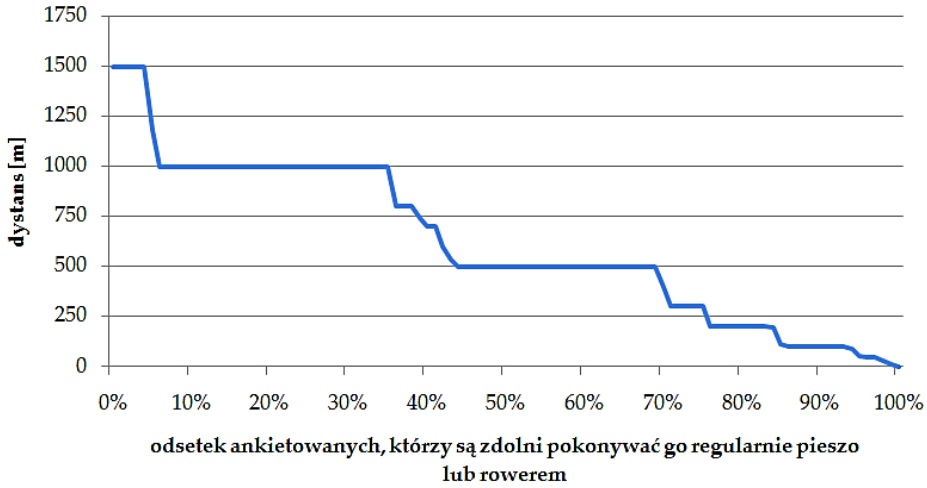
Źródło: (Kurowski i in., 2023, s. 12).

Podobnie jak w przedstawionym wcześniej wzorze r to promień zasięgu jednego paczkomatu determinowany przez preferencje użytkowników, natomiast a stanowi odległość między sąsiednimi automatami paczkowymi w sieci. Do zidentyfikowania obserwacji odstających zastosowano metodę 1,5 IQR. Stosując tę metodę, należy najpierw wyznaczyć rozstęp międzykwartylowy, czyli różnicę wartości kwartyla 3 i kwartyla 1. Obserwacje odstające to te przyjmujące wartości wyższe od wartości kwartyla 3 plus 1,5 rozstępu międzykwartylowego oraz niższe od wartości kwartyla 1 minus 1,5 rozstępu międzykwartylowego.

4. Optymalizacja zielonogórskiej sieci automatów paczkowych

Z perspektywy omawianego tematu najistotniejsze są preferencje użytkowników dotyczące dystansu, jaki mają możliwość pokonywać regularnie, pieszo lub rowerem, do automatów paczkowych. W niniejszych badaniach jest to nazywane zasięgiem automatu paczkowego. Parametr ten ma kluczowe znaczenie, jeśli chodzi o całkowite nakłady energii związane z realizacją dostaw, co ma wymiar nie tylko ekonomiczny, ale także środowiskowy. Nie można arbitralnie określić zasięgu automatu paczkowego. Jest to parametr, który należy zidentyfikować za pomocą wstępnych badań preferencji lokalnej społeczności. Tylko w taki sposób możliwe jest zaprojektowanie efektywnej sieci, odpowiadającej realnym potrzebom użytkowników. Należy zauważyć, że im większy zasięg automatów paczkowych, czyli im dłuższy odcinek, jaki użytkownicy muszą pokonać regularnie pieszo lub rowerem, by odebrać lub nadać paczkę, tym mniejsza jest liczba urządzeń potrzebnych do skutecznej obsługi danego obszaru.

Ankietowani Lubuszanie wskazali zróżnicowane odpowiedzi w zakresie tego parametru. Po odrzuceniu 37 obserwacji odstających średnia wartość wskazana w odpowiedziach wynosiła 616,34 m, a mediana 500 m. Wyznaczono linię obrazującą, jaki odsetek użytkowników pokonywałby regularnie dany dystans do automatu paczkowego pieszo lub rowerem. Przedstawiono ją na rys. 3.



Rys. 3. Odsetek respondentów deklarujących możliwość pokonywania określonego dystansu do paczkomatu regularnie pieszo lub rowerem

Źródło: (Kurowski i in., 2023, s. 9).

Przedstawiony na rys. 3 wykres jest w krzywą quasi-popytu na usługę dostaw poprzez automaty paczkowe z dojazdem rowerem lub pieszo. Wynika z niego, że aby zadowolić wszystkich użytkowników, automaty paczkowe powinny mieć zasięg zbliżony do zera, czyli być rozmieszczone bezpośrednio przy wszystkich miejscach zamieszkania. W ten sposób pełniłyby funkcję skrzynek pocztowych i ich zastosowanie nie miałoby ekonomicznego uzasadnienia. Po odrzuceniu odpowiedzi z najniższymi wartościami okazuje się, że zasięg automatu paczkowego rzędu 100 m byłby satysfakcjonujący dla 93% użytkowników. Przypadek ten można uznać za najgęstszą możliwą sieć, której rozważanie jest ekonomicznie uzasadnione. Z drugiej strony należałoby odnaleźć wariant o mniejszej gęstości, który nadal byłby postrzegany jako korzystny przez zdecydowaną większość użytkowników.

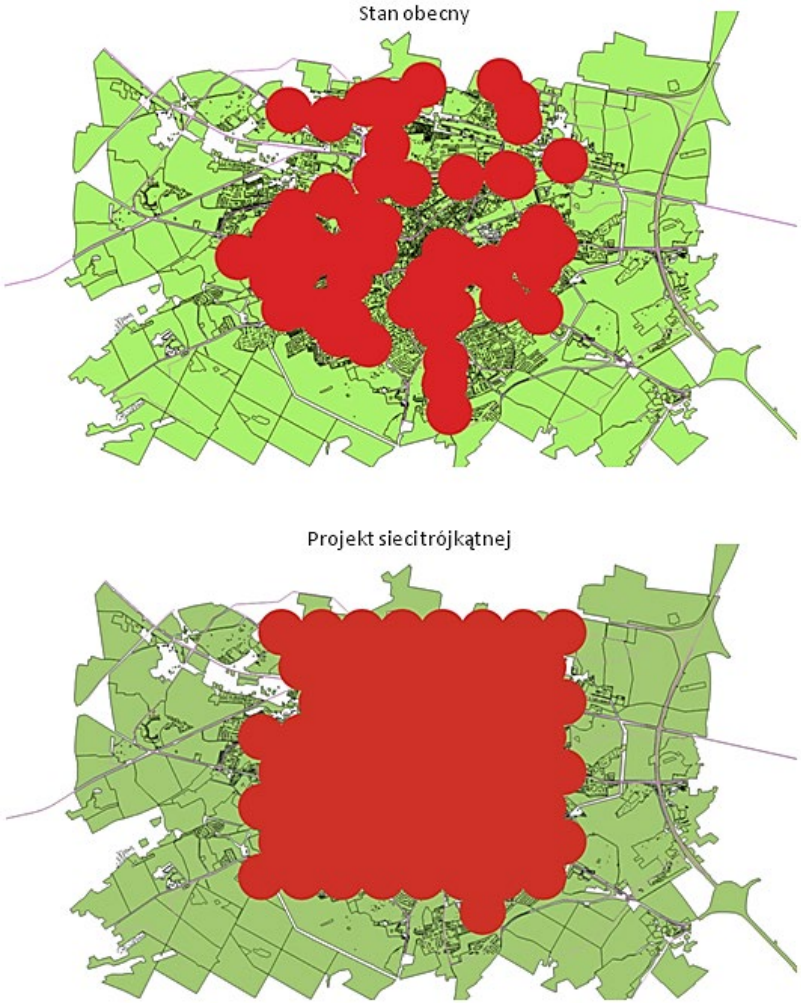
Biorąc pod uwagę przebieg krzywej na rys. 3, zwłaszcza jej poziome odcinki, należy stwierdzić, że interesujący wydaje się zasięg automatu paczkowego rzędu 300 m, który przez 75% użytkowników jest uważany za odpowiedni do regularnego pokonywania pieszo lub rowerem. Wariant, w którym mniej niż 75% użytkowników jest usatysfakcjonowanych z zasięgu, powinien być odrzucony z procesu projektowania sieci już we wstępnej fazie, ponieważ wskazane dystanse mają charakter deklaratywny i w rzeczywistości mogą być mniejsze. W związku z przedstawionymi argumentami do dalszego etapu badań wytypowano dwa warianty zasięgu automatu paczkowego:

- 100 m – spełniający wymagania 93% użytkowników,
- 300 m – spełniający wymagania 75% użytkowników.

Następnie wykorzystano wzór na wyznaczenie odpowiedniej liczby automatów paczkowych dla danego obszaru. Po przeprowadzeniu obliczeń wykazano, że podczas projektowania trójkątnej sieci automatów paczkowych dla badanego fragmentu Zielonej Góry w pierwszym wariancie należałoby rozmieścić 678 urządzeń, w drugim 76. W związku z tym należy odrzucić również wariant automatów paczkowych o zasięgu 100 m jako wysoce nieekonomiczny, przynajmniej w najbliższym horyzoncie czasowym. Wymaga on blisko dziewięciokrotnie większych nakładów inwestycyjnych, a przede wszystkim oznacza wzrost liczby postojów pojazdu dostawczego w takiej samej proporcji. Zwiększa to koszty operacyjne, wydłuża czas realizacji operacji i negatywnie oddziałuje na środowisko.

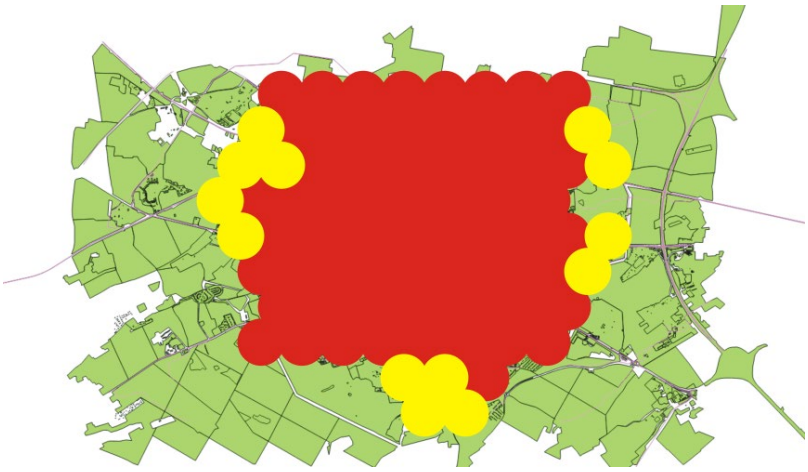
W dniu przeprowadzonej analizy (15 września 2023 r.) w badanej części Zielonej Góry zlokalizowane były 63 automaty paczkowe głównego dostawcy. Oznacza to, że w odniesieniu do teoretycznej sieci trójkątnej automatów paczkowych o zasięgu 300 m było ich o 13 za mało, nawet przy optymalnym rozmieszczeniu. Na rys. 4 porównano aktualną sieć automatów paczkowych z postulowaną siecią trójkątną, przy zasięgu automatu paczkowego o promieniu 300 m. Wynika z niego, że obecna sieć automatów paczkowych nie pokrywa wielu gęsto zaludnionych obszarów miasta. W centrum miasta są to okolice głównej arterii

– ul. Bohaterów Westerplatte, a także ul. Bolesława Chrobrego i ul. Długiej. Znaczne obszary osiedli: Juliusza Słowackiego, Jana Kilińskiego i Zdrojowego, nie znajdują się w zasięgu żadnego automatu. Zastosowanie sieci trójkątnej pozwoliłoby na pokrycie o 45,79% większego obszaru Zielonej Góry, przy niezmienionej liczbie automatów paczkowych. Wyniki badań potwierdzają hipotezę badawczą.



Rys. 4. Porównanie obecnej sieci automatów paczkowych i projektu sieci trójkątnej

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 5. Pokrycie badanego obszaru siecią trójkątną składającą się z zalecanej liczby 76 automatów paczkowych

Źródło: opracowanie własne.

Należy jednak pamiętać, że przedstawiony projekt sieci trójkątnej jest jego wstępną formą. W zależności od parametrów, takich jak czynniki: infrastrukturalne, topograficzne, własnościowe, docelowa lokalizacja automatów paczkowych mogłaby ulec zmianie. Jej ustalenie należałoby rozpocząć od terenów najbardziej zurbanizowanych, wolnych od przestrzeni niezamieszkanych, jak parki czy tereny przemysłowe.

Na podstawie przeprowadzonych wcześniej obliczeń wykazano, iż na tym obszarze powinno funkcjonować minimum 76 automatów paczkowych. Dlatego też kolejnych 13 dodano do mapy i oznaczono kolorem żółtym, co ilustruje rys. 5.

W tym przypadku badana część Zielonej Góry została pokryta siecią niemal w całości. Specyficzny kształt przestrzeni, stworzonej z okrągłych zasięgów automatów paczkowych, najczęściej nie będzie wpisywać się dokładnie w kontur analizowanego terenu.

5. Dyskusja

Niezależnie od wykorzystanej metody projektowania sieci automatów paczkowych powinna ona spełniać wymagania użytkowników. Kopiowanie rozwiązań, które sprawdziły się w innych regionach i społecznościach, niekoniecznie może przynieść równie korzystne efekty. Niezbędne jest przeprowadzenie badań dla konkretnego przypadku. Z punktu widzenia całej gospodarki, a nawet społeczeństwa, należy uwzględnić szeroki kontekst funkcjonowania sieci automatów paczkowych, aby rzeczywiście ograniczyć koszty, zużycie energii i emisję zanieczyszczeń związanych z dostawą przesyłek, a nie jedynie transferować je na inny podmiot.

Menedżerowie mają możliwość skorzystania z przedstawionej w artykule metody projektowania sieci automatów paczkowych. Jak wykazano, poprzez jej zastosowanie możliwe jest zwiększenie zasięgu sieci. W konsekwencji może to prowadzić do wzrostu satysfakcji użytkowników.

W poszukiwaniu optymalnego zasięgu automatu paczkowego warto wyjść od rozkładu preferencji użytkowników. Przedstawiona na rys. 3 krzywa nie jest tak samo elastyczna w całym swoim przebiegu. Przykładowo zmniejszając promień zasięgu automatu paczkowego z 1000 m do 750 m (zmniejszenie pola zasięgu o ok. 43,75%), uzyskuje się wzrost usatysfakcjonowanych użytkowników o 3 p.p., natomiast zmniejszając promień zasięgu automatów paczkowych z 750 m do 500 m (zmniejszenie pola zasięgu o ok. 55,56%) – o 31 p.p.

Przedstawione badania reprezentują wyłącznie popytową stronę funkcjonowania sieci automatów paczkowych. Zwiększenie jej efektywności wymaga włączenia do rozważań także strony podażowej, wraz z jej uwarunkowaniami, danymi dotyczącymi kosztów inwestycyjnych, operacyjnych, a także specyfiką pracy kurierów. Dalszy kierunek badań prowadzi właśnie w tę stronę. Nałożenie na siebie danych reprezentujących stronę popytową oraz podażową umożliwiłoby tworzenie sieci o odpowiedniej gęstości.

W kolejnych badaniach należałoby również opracować metodę praktycznego dostosowania wstępnej wersji sieci trójkątnej do jej postaci finalnej. Przydatne byłoby ponowne wykorzystanie oprogramowania geoinformacyjnego i stworzenie za jego pomocą łatwo edytowalnej warstwy z zasięgiem automatów paczkowych oraz warstwy z wyraźnie zaznaczonymi obszarami, gdzie zastosowanie tych urządzeń jest nieuzasadnione lub niemożliwe.

6. Zakończenie

Testowane od jakiegoś czasu i stale udoskonalane nowoczesne technologie dostaw, np.: za pomocą pojazdów bezzałogowych, mogą w niedalekiej przyszłości zdominować logistykę ostatniej mili i rozwiązać wiele problemów z nią związanych. Na razie świat nauki oraz praktycy gospodarki muszą znaleźć odpowiedzi na pytania pojawiające się wraz z rozwojem sieci automatów paczkowych, a wszystko wskazuje na to, że ten będzie postępował – w ujęciu zarówno ilościowym, jak i jakościowym.

Dotychczasowy rozwój sieci automatów paczkowych był nastawiony przede wszystkim na wzrost skali działania. Z biegiem czasu coraz bardziej odczuwana jest potrzeba optymalizacji istniejącej sieci. Kluczową rolę w tym procesie odgrywa zapewnienie użytkownikom możliwości regularnego pokonywania dystansu do automatu paczkowego rowerem lub pieszo. W analizowanym przykładzie dogodnym dla 75% ankietowanych, a zarazem łatwym do praktycznego zrealizowania, był promień zasięgu automatu paczkowego wynoszący 300 m.

Stworzenie trójkątnej sieci automatów paczkowych uwzględniającej wspomniany parametr pozwoliłoby na zwiększenie zasięgu sieci automatów paczkowych w analizowanej części Zielonej Góry o 45,79%.

Bibliografia

Cieśla, M. (2023). Perceived Importance and Quality Attributes of Automated Parcel Locker Services in Urban Areas. *Smart Cities*, *6*(5), 2661-2679. https://doi.org/10.3390/smartcities6050120

Colliers. (2024). *Automaty paczkowe. Rozwój, innowacje, przyszłość*. Colliers Poland sp. z o.o.

Giuffrida, M., Mangiaracina, R., Perego, A. i Tumino A. (2016). Home Delivery vs. Parcel Lockers: An Economic and Environmental Assessment. (Proceedings of the 21th Summer School Francesco Turco, Neapol, 13-15 września 2016).

Inpost. (2023). *Znajdź paczkomat lub paczkopunkt*. https://inpost.pl/znajdz-paczkomat

Iwan, S., Kijewska, K. i Lemke, J. (2016). Analysis of Parcel Lockers' Efficiency as the Last Mile Delivery Solution – the Results of the Research in Poland. *Transportation Research Procedia*, *12*, 644-655. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.018

Lagorio, A. i Pinto, R. (2020). *The Parcel Locker Location Issues: An Overview of Factors Affecting Their Location*. (International Conference on Information Systems, Logistics and Supply, Austin, 22-24 April 2020, 1-8).

Lemke, J., Iwan, S. i Korczak, J. (2016). Usability of the Parcel Lockers from the Customer Perspective – The Research in Polish Cities. *Transportation Research Procedia*, *16*, 272-287. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.11.027

Lin, Y. H., Wang, Y., Lee, L. H. i Chew, E. P. (2021). Profit-Maximizing Parcel Locker Location Problem under Threshold Luce Model. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *157*(102541), 1-24.

Lyu, G. i Teo, C.-P. (2021). Last Mile Innovation: The Case of the Locker Alliance Network. *Manufacturing & Service Operations Management, 24*, 2425-2443. https://doi.org/10.1287/msom.2021.1000

Molin, E., Kosicki, M. i van Duin, J. H. R. (2022). Consumer Preferences for Parcel Delivery Methods: The Potential of Parcel Locker Use in the Netherlands. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, *22*(2), 183-200. https://doi.org/10.18757/ejtir.2022.22.2.6427

Kahr, M. (2022). Determining Locations and Layouts for Parcel Lockers to Support Supply Chain Viability at the Last Mile. *Omega*, *113*, 1-20.

Kurowski, M., Sobolewski, M. i Koszorek, M. (2023). Geometrical Parcel Locker Network Design with Consideration of Users' Preferences as a Solution for Sustainable Last Mile Delivery. *Sustainability*, *15*(20), 1-17. https://doi.org/10.3390/su152015114

Majchrzak-Lepczyk, J. (2022). Rozwój rynku e-commerce w Polsce – wybrane zagadnienia. W: S. Konecka i A. Łupicka (red.). *Logistykacja gospodarki światowej* (s. 71-81). Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu.

Niederprüm, A. i van Lienden, W. (2021). *Parcel Locker Stations: A Solution for the Last Mile?* (WIK Working Paper no. 2). WIK Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste.

Niedzielski, P. i Rychlik, K. (2006). *Innowacje i kreatywność*. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego.

Po-Lin, L., Hyunmi, J., Mingje, F. i Ke, P. (2021). Determinants of Customer Satisfaction with Parcel Locker Services in Last-mile Logistics. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, *38*(2021), 25-30.

Pszczołowski, T. (1978). *Mała encyklopedia prakseologii i teorii organizacji*. Zakład Narodowy im. Ossolińskich – Wydawnictwo.

Schneider, M., Hinde C. i West, A. (2021). Sensitivity Analysis of Emission Models of Parcel Lockers vs. Home Delivery Based on HBEFA. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(6325), 1-21. https://doi.org/10.3390/ijerph18126325

Sobolewski, M. (2023). Problem pełnych paczkomatów w kontekście zachowań użytkowników. W: K. Huk, M. Kurowski, K. Witkowski (red.). *Współczesne trendy w logistyce. Logistyka w turbulentnym otoczeniu*. Uniwersytet Zielonogórski.

Sorooshian, S., Khademi Sharifabad, S., Parsaee, M. i Afshari, A. R. (2022). Toward a Modern Last-Mile Delivery: Consequences and Obstacles of Intelligent Technology. *Applied System Innovation*, *5*(82), 1-16.

Szeląg, K. (2016). Paczkomaty elementem infrastruktury zwiększającym bezpieczeństwo procesów logistycznych. *Obronność – Zeszyty Naukowe Wydziału Zarządzania i Dowodzenia Akademii Sztuki Wojennej*, *4*(20), 312-338.

Trzęsiok, M. (2014). Wybrane metody identyfikacji obserwacji oddalonych. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, (327), 157-166.

van Duin, J. H. R., Wiegmans, B. W., van Arem, B. i van Amstel, Y. (2020) From Home Delivery to Parcel Lockers: A Case Study in Amsterdam. *Transportation Research Procedia*, *46*, 37-44. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.161

Wang, Y., Zhang, Y., Bi, M., Lai, J. i Chen, Y. (2022). A Robust Optimization Method for Location Selection of Parcel Lockers Under Certain Demand. *Mathematics*, *10*(4289), 1-15.

Yusuf, N. i Farhan Vilardi, A. (2019). Consumer's Point of View on Parcel Lockers in DKI Jakarta. *MATEC Web of Conferences*, *270*(03003), 1-6.

Zurel, Ö., Van Hoyweghen, L., Braes, S. i Seghers, A. (2018). Parcel Lockers, an Answer to the Pressure on the Last Mile Delivery? W: P.L. Parcu, T.J. Brennan i V. Glass (red.), *New Business and Regulatory Strategies in the Postal Sector*. Springer Cham.

A Practical Approach to the Geometric Design of a Parcel Locker Network Taking into Account User Preferences – The Example of Zielona Góra

Abstract

Aim: The aim of the article is to propose the project of the parcel locker network which will increase the coverage of parcel lockers in the selected part of the city of Zielona Góra by examining user preferences and then using the obtained information to create an initial version of a triangular network of parcel lockers.

Methodology: For the purposes of the research, literature studies, a survey, and statistical analysis were conducted.

Results: In the case of Zielona Góra, a network guaranteeing a distance to the parcel locker of up to 300 m would satisfy 75% of users and at the same time would not involve excessive costs of practical implementation. A triangular parcel locker network created based on this parameter would have larger range than the current one by 45.79%.

Implications and recommendations: When designing a network of parcel lockers, it is necessary to recognize users' preferences in terms of the ability to regularly cover distances on foot or by bicycle. Moreover, in addition to advanced optimization methods, it is also worth using simple geometric methods, especially in the initial phase of designing process.

Originality/value: The conducted research shows how user preferences should be examined and taken into account when designing parcel locker networks. Especially when it comes to its optimal density.

Keywords: parcel locker, last mile logistics, network optimization