

KRYSTIAN BANET

dr inż., Politechnika Krakowska,
Katedra Systemów Transportowych
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków,
e-mail: kbanet@pk.edu.pl
ORCID: 0000-0002-9560-483X

Modelowanie wpływu otoczenia trasy na postoje użytkowników rowerów miejskich¹

Streszczenie: Pojęcie zrównoważonej mobilności jest obecnie jednym z częściej poruszanych zagadnień w transporcie. Z pojęciem tym wiąże się m.in. rozwój ruchu pieszego i proekologicznych środków transportu, do których zaliczają się rowery, w tym rowery publiczne. W niniejszym artykule analizie poddane zostały dane z systemu rowerów publicznych Wavelo, który funkcjonował w latach 2017–2020 w Krakowie. Dane zawierały informacje o wybranych przez użytkowników trasach i czasie podróży, dzięki czemu możliwa była ocena rozkładu czasowo-przestrzennego podróży rowerami miejskimi. Po przeprowadzonej procedurze czyszczenia danych o podróżach rowerowych w ramach systemu Wavelo i filtrowania danych o postojach opracowano metodykę oceny atrakcyjności otoczenia trasy oraz modele regresji logistycznej wpływu otoczenia trasy na postoje użytkowników rowerów miejskich. Dzięki temu uzyskano narzędzie dla decydentów i urbanistów służące do identyfikacji miejsc atrakcyjnych dla rowerzystów, co będzie pomocne w kształtowaniu przestrzeni publicznej pod kątem wymagań tej grupy użytkowników.

Słowa kluczowe: zrównoważona mobilność, ruch rowerowy, modelowanie systemów transportowych, urbanistyka.

Wprowadzenie

Ruch rowerowy jako problem badawczy analizowany jest przez różne dziedziny nauki, począwszy od inżynierii lądowej i transportu, poprzez urbanistykę, nauki społeczne i ekonomiczne do medycyny. Problematyka ruchu rowerowego jest także zagadnieniem podejmowanym przez geografów transportu, którzy zajmują się analizą miejskiego i turystycznego ruchu rowerowego. Oprócz tego wykazuje się procesy rządzące ruchem rowerowym, wpływ warunków klimatycznych, ukształtowania terenu, zagospodarowania przestrzennego na preferencje transportowe czy subiektywne postrzeganie przestrzeni miast lub obszarów turystycznych [1]–[4]. W literaturze widoczna jest luka badawcza dotycząca metod szacowania popytu na podróże rowerowe. Powodem jest m.in. brak dobrej jakości danych o ruchu rowerowym. Wielu badaczy mimo to podjęło się próby określenia wpływu takich czynników jak: rodzaj trasy, nawierzchnia czy warunki pogodowe na liczbę podróży rowerowych [3], [5]–[9]. Niewielu z nich skupiło się natomiast na parametrach tych podróży, takich jak współczynnik wydłużenia trasy czy czas i lokalizacja postojów. W artykule postanowiono sprawdzić, jak parametry podróży rowerowych zależą od poziomu atrakcyjności otoczenia trasy, opisanego liczbą towarzyszących jej walorów kulturowo-przyrodniczych. Badanie wszystkich podróży rowerowych nie było możliwe ze względu na brak danych, które

pokazywałyby, jak kształtują się wszystkie podróże rowerowe w mieście, biorąc pod uwagę ich rozkład przestrzenny i czasowy. Dzięki możliwości pozyskania danych od operatora rowerów publicznych Wavelo, które funkcjonowały w Krakowie w latach 2017–2020, w artykule skupiono się na analizie wpływu otoczenia trasy na postoje użytkowników rowerów miejskich, co dzięki modelom regresji logistycznej udało się potwierdzić.

Cele badań

Podjęte w artykule badania poszerzają wiedzę na temat parametrów podróży realizowanych w obrębie systemu rowerów miejskich w Krakowie, a celem naukowym badań jest opracowanie modelu wpływu otoczenia trasy na parametry podróży w ramach systemu rowerów miejskich. Wśród działań służących osiągnięciu powyższego celu wymienić można analizę danych o podróżach rowerami miejskimi, w tym opracowanie metodyki weryfikacji dużych zbiorów danych o podróżach realizowanych z użyciem tego środka transportu oraz opracowanie modeli uczenia maszynowego. Przeprowadzone analizy pozwoliły na uzupełnienie luki badawczej w zakresie analizy liczby i czasu postojów użytkowników systemu rowerów publicznych.

Praktycznym celem prowadzonych badań jest opracowanie narzędzia dla decydentów i urbanistów do identyfikacji miejsc, które są atrakcyjne dla użytkowników rowerów miejskich. W praktyce pozwala to na określenie tych obszarów, w których powinno się zwrócić szczególną uwagę na kształtowanie przestrzeni publicznej pod kątem urządzeń małej architektury i lokalizowania mebli miejskich umożliwiających odpoczynek, a także lokalizowania rowerowej infrastruktury punktowej. Spełnia to warunki kreowania dobrej przestrzeni publicznej, która jest otwarta i dostosowana do potrzeb wielu grup użytkowników. Wpisuje się to także w szerszy kontekst promocji zrównoważonego transportu i zmniejszenia zatłoczenia komunikacyjnego. Jednym ze sposobów redukcji takiego zatłoczenia jest odpowiednie kształtowanie przestrzeni transportowej, z uwzględnieniem potrzeb percepcyjnych i ruchowych wszystkich uczestników ruchu drogowego, również pieszych i rowerzystów, co dotyczy nie tylko kształtowania infrastruktury liniowej. Takie podejście do rozwiązania tych problemów może być czynnikiem zachęcającym te grupy uczestników ruchu drogowego do wyboru właśnie takiego sposobu realizacji codziennych przemieszczeń [10]. To z kolei przynosi szereg korzyści dla miasta, m.in. kreowanie

¹ ©Transport Miejski i Regionalny, 2021.

pozytywnego wizerunku miasta otwartego na promowanie ekologicznych form transportu, zmianę podziału zadań przewozowych, pozytywne zmiany przestrzenne ulic i placów, poprawa zdrowia publicznego czy poprawa warunków środowiska miejskiego. Należy pamiętać, że ruch rowerowy stanowi podstawowy składnik systemów transportowych w obszarach śródmiejskich.

Rozwój systemów rowerów miejskich

Rozwój różnych środków transportu bardziej niż inne czynniki wpłynął na to, w jaki sposób przebiegał rozwój miast [11]. Pojawienie się roweru zmieniło sposób podróżowania i dało większą swobodę. Zahamowanie rozwoju ruchu rowerowego spowodowane było rozwojem motoryzacji, jednak obecnie ruch rowerowy w codziennych dojazdach ze względu na szereg korzyści staje się coraz bardziej popularny. Rozwijający się ruch rowerowy stał się obiektem zainteresowania wielu badaczy. W literaturze pojawia się mnogość opracowań, w których poruszane są różnorakie aspekty ruchu rowerowego, takie jak: kwestie ekologiczne, ekonomiczne, społeczne czy te związane z jego prognozowaniem i modelowaniem oraz z projektowaniem infrastruktury rowerowej. Dodatkowo można wydzielić w literaturze pozycje dotyczące badania wpływu czynników zewnętrznych na rozwój ruchu rowerowego oraz ukazujące ruch rowerowy jako element zrównoważonego rozwoju transportu. Pojawiają się także pozycje dotyczące funkcjonowania samoobsługowych systemów krótkoterminowego wynajmu rowerów (ang.: bike-sharing) [12]. Systemy te są przykładem systemów pojazdów współdzielonych obejmujących sieć strategicznie rozmieszczonych stacji, które dysponują określoną flotą pojazdów. W najbardziej elastycznej formie użytkownicy, którzy wybrali się w podróż, mogą wypożyczyć rower znajdujący się w pobliżu źródła podróży i zwrócić go blisko miejsca docelowego. W podróżach intermodalnych tego typu system zwiększa dostępność transportową, rozwiązując „problem pierwszej i ostatniej mili” [9], [13], [14]. W aspekcie korzyści rowerów publicznych Nair i in. (2013) zwracają uwagę, że dla użytkowników system wypożyczania rowerów oferuje zwiększone możliwości podróżowania dzięki elastyczności i niskim kosztom. Użytkownicy mają swobodę wyboru czasu wyjazdu, tras i celów podróży [13]. Shaheen i in. (2009), wśród zalet systemu rowerów publicznych, wymieniają również: szerokie korzyści zdrowotne, większą świadomość ekologiczną, niższy poziom kongestii, mniejsze zużycie paliwa i niższe koszty związane z przesunięciami modalnymi [15]. Shaheen i in. (2009) zwracają uwagę na prostą zasadę systemu rowerów publicznych: użytkownicy korzystają z roweru w razie potrzeby, bez ponoszenia kosztów i obowiązków związanych z posiadaniem roweru [15].

Początki rowerów publicznych datuje się na lata 60. XX wieku. Pierwsze rowery publiczne pojawiły się w Amsterdamie i wprowadzone zostały dzięki staraniom organizacji Provos, która była mocno zaangażowana w sprawy związane ze środowiskiem. Pomimo negatywnych doświadczeń związanych z wprowadzeniem białych rowerów w stolicy

Holandii idea *bike-sharing* przykuła uwagę i doprowadziła do powstania pierwszej generacji rowerów publicznych określanych mianem białych bądź darmowych. Systemy te bazowały na bezkosztowej możliwości używania niezablokowanych rowerów, które były rozmieszczone w mieście przypadkowo i z reguły malowane na jeden jasny kolor. Problemy związane z darmowymi rowerami doprowadziły do wprowadzenia w Kopenhadze w 1995 roku systemu, opartego o depozyt pieniędzy, które były zwracane po przejeździe, a zablokowane rowery były zlokalizowane w specjalnych stojakach. To przyczyniło się do powstania drugiej generacji rowerów publicznych, a niedociągnięcia w jej funkcjonowaniu doprowadziły później do powstania trzeciej generacji [15]. *Bike-sharing* stał się popularny z jej wprowadzeniem, a polegała na zastosowaniu automatycznego urządzenia transakcyjnego na każdej stacji i zidentyfikowanych użytkowników rowerów publicznych. Systemy te odniosły względny sukces na całym świecie. W Kopenhadze i Madrycie istnieją systemy rowerów publicznych czwartej generacji z ulepszonymi stacjami dokującymi, redystrybucją rowerów, integracją z innymi środkami transportu i rowerami elektrycznymi [14], [15]. Według stanu na maj 2021 roku na świecie funkcjonuje 2008 systemów rowerów miejskich, 24 systemy są zawieszono, planuje się utworzenie 284 nowych systemów, a w 56 przypadkach zrezygnowano z wprowadzania systemu rowerów miejskich. Dotychczas zamknięto na świecie 790 takich systemów [16]. Istniejące systemy funkcjonują według różnych modeli biznesowych, a ich operatorami są firmy reklamowe, zarządy transportu w miastach, organizacje non-profit czy prywatne firmy [15]. Pierwszy taki system w Polsce powstał w Krakowie w 2008 roku i po różnych metamorfozach działał w latach 2017–2020 pod nazwą Wavelo obok 19 innych systemów w kraju [17]. Co ważne krakowski system oferował rowery miejskie czwartej generacji (fotografia 1) [18].



Fot. 1. Rowery Wavelo na stacji wypożyczeń przy Placu Wszystkich Świętych
Źródło: [19]

Stan badań nad modelowaniem systemów rowerów miejskich

W ciągu ostatnich kilku lat przeprowadzono szereg badań poświęconych analizie czynników wpływających na podróżę rowerową w ramach systemów rowerów miejskich. Badania te zazwyczaj próbują rozpoznać potencjalne loka-

lizacje stacji nowo tworzonych systemów oraz oszacować przepływy rowerowe i wykorzystanie rowerów miejskich, biorąc pod uwagę zmienne społeczno-demograficzne i dane dotyczące zagospodarowania (takie jak gęstość zaludnienia i miejsc pracy), a także parametry topologiczne i meteorologiczne dla proponowanych lokalizacji [20]–[22]. Dane z systemów rowerów miejskich znajdują zastosowanie także w badaniach systemów już funkcjonujących, jednak ilość danych zebranych w takich systemach jest często bardzo duża. Etienne i Latifa (2014) zwracają uwagę, że powoduje to trudność uzyskania wiedzy z tych danych, korzystając z nich bez pomocy automatycznych algorytmów, które wyodrębniają wzorce mobilności i dają syntetyczny obraz informacji o ruchu rowerowym w obrębie systemu rowerów publicznych [23]. Tran i in. (2015) zwracają uwagę, że te dane, które są zbierane w sposób automatyczny, stanowią cenne źródło informacji służących lepszemu zrozumieniu korzystania z rowerów miejskich. Są także lepszym źródłem danych aniżeli wcześniej wykorzystywane tradycyjne badania, wykonywane celem określenia czynników, które mogą zachęcać do korzystania z rowerów publicznych [9]. Zhao i in. (2020) zauważają, że lokalizatory GPS w rowerach miejskich pozwalają na bardzo dokładne analizy wpływu rowerów miejskich na przestrzeń miejską, mobilność, zachowania podróży, zrównoważony rozwój i dostępność. W porównaniu z innymi środkami transportu, dane dotyczące udostępniania rowerów zwykle zawierają dokładne punkty początkowe i końcowe oryginalnych podróży, co jest przydatne do analizy wpływu użytkownika terenu [24]. Informacje o podróżach z ich czasem trwania, źródłem i celem, które są często publicznie dostępne, są nieocenionym źródłem pozwalającym na lepsze zrozumienie wzorców mobilności [25].

Podjęcia do badań danych z systemów rowerów miejskich różnią się w zależności od rodzaju wykorzystywanych danych i celu, do którego służą. Zebrane dane dotyczące istniejących systemów, mogą odpowiadać statystykom zajętości stacji, takim jak obłożenie stacji w ciągu dnia lub w kilku przedziałach czasowych, ale dostępne mogą być również dane dotyczące podróży (tj. dla każdej podróży wykonanej przy użyciu systemu), w którym to przypadku stacja początkowa i czas rozpoczęcia, oraz stacja docelowa i czas zakończenia podróży są rejestrowane [23]. W literaturze zagranicznej można znaleźć badania związane z zarządzaniem flotą w systemach pojazdów współdzielonych (m. in.: Barth i Todd (1999), Nair i in. (2013), Etienne i Latifa (2014), Chen i in. (2016), Liu i in. (2016), Lin i in. (2018)), przy czym część odnosi się do systemów *car-sharing* [13], [23], [26]–[29]. Dzięki danym pozyskanym z systemów rowerów miejskich możliwe jest określenie, jak kształtuje się długość podróży z użyciem rowerów danego systemu. Wyniki Kou i Cai (2019) pokazują, że zarówno odległość, jak i czas trwania podróży, są zgodne z log-normalnym rozkładem w większych systemach rowerów publicznych (np. w Bostonie, Waszyngtonie, Chicago i Nowym Jorku), podczas gdy dystrybucja dla mniejszych systemów jest różna: rozkład Weibulla, gamma i log-normalny, co wynika z fak-

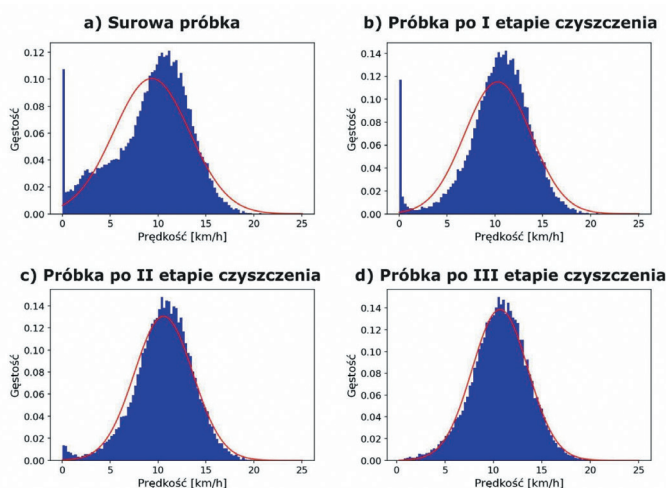
tu, iż geograficzna granica systemów ogranicza przemieszczanie się użytkowników [30]. Froehlich i in. (2009) przeanalizowali dane z systemu rowerów miejskich w Barcelonie i metodą hierarchicznej klasteryzacji zbadali wzorce użytkowania poszczególnych stacji i geograficzną dystrybucję rowerów na terenie miasta. Dodatkowo opracowany został model przewidywania liczby dostępnych rowerów na każdej stacji w danym momencie w przyszłości [31]. Klasteryzacją posłużyli się także Etienne i Latifa (2014), którzy opracowali automatyczny algorytm oparty na nowym modelu statystycznym, który samoistnie grupuje stacje rowerów publicznych zgodnie z ich profilem użytkownika [23]. Buck i Buehler (2012) badali wpływ różnych czynników, w tym obecności ścieżek rowerowych, liczby ludności, liczby gospodarstw domowych bez samochodów i miejsc sprzedaży detalicznej w pobliżu stacji wypożyczeń na podróże rowerowe w systemie rowerów miejskich w Waszyngtonie [32]. Daddio (2012) również przeprowadził badania nad systemem rowerów miejskich w stolicy Stanów Zjednoczonych, otrzymując wniosek, że znaczący wpływ na liczbę użytkowników systemu ma odległość od środka ciężkości systemu – im dalej od niego, tym liczba rowerzystów, korzystających z rowerów miejskich, jest mniejsza [33]. Wang i in. (2012) w swojej analizie uwzględniłi roczne wskaźniki dla każdej stacji w Minneapolis i zbadali wpływ pobliskich obszarów biznesowych, gęstości miejsc pracy, cech społeczno-demograficznych, cech zabudowy i zmiennych opisujących infrastrukturę transportową na roczne potoki podróży w obrębie systemu [34]. Rixey (2013) zbadał, z wykorzystaniem analizy regresji, wpływ charakterystyk demograficznych i cech zabudowy na średnie miesięczne wykorzystanie rowerów na poziomie stacji w trzech różnych miastach w USA: Waszyngtonie, Minneapolis i Denver [35]. Wpływ użytkownika terenu, formy urbanistycznej i czynników meteorologicznych na zmianę profili popytu na podróże rowerowe w obrębie systemu rowerów miejskich w Montrealu (Kanada) zbadali Eluru i in. (2014), skupiając się bardziej na wpływie zmiennych, mających wpływ w krótszym okresie, np. na poziomie godziny, niż na danych zagregowanych do roku czy miesiąca. W przywołanych badaniach przeprowadzonych w Montrealu wykorzystany został model regresji liniowej oraz model liniowy mieszany [20]. Tran i in. (2015) poddali analizie uwarunkowania wpływające na popyt na podróże rowerowe w obrębie systemu rowerów miejskich w Lyonie (Francja), a szczególnie na jego atrybuty zabudowy wokół stacji [9]. W 2020 roku wyniki swoich badań dotyczących wpływu liczby sklepów detalicznych i biur biznesowych w pobliżu wypożyczalni rowerów miejskich na liczbę wypożyczeń opublikowali Lin i in. [36]. Dane z rowerów miejskich zostały wykorzystane także przez Brinkmanna (2020) do opisania różnic w sposobie wykorzystania rowerów miejskich przez turystów i zwykłych użytkowników posiadających abonament na przykładzie Rio de Janeiro i Miami Beach [37].

Dokonana kwerenda źródeł bibliograficznych ukazuje, jak rozległe prowadzone są badania związane z systemami

rowerów publicznych. Okazuje się, że wiele miejsca w literaturze poświęcono wpływowi zagospodarowania przestrzennego na zajętość stacji rowerów miejskich i liczbę podróży związanych z miejscami obudowanymi klastrami biurowymi czy sprzedażą detaliczną. Przeprowadzono także badania związane z atrakcyjnością otoczenia trasy w kontekście wyboru trasy, jednakże żadne ze znalezionych badań nie odnosiło się do analizy postojów rowerzystów i identyfikacji atrakcyjnych miejsc dla użytkowników systemów rowerów miejskich. Większość z badań w podobnym zakresie odnosi się do poszukiwania lokalizacji wypożyczalni, biorąc pod uwagę preferencje użytkowników, ale także, a może przede wszystkim, opłacalność danej lokalizacji pod kątem biznesowym dla operatora systemu. Dokonany przegląd stanu badań pozwolił autorowi utwierdzić się w przekonaniu, że w zakresie poruszonym w niniejszym artykule, istnieje luka badawcza, którą dzięki tej pracy postarano się w pewnym stopniu wypełnić i zapoczątkować badania w analizowanej płaszczyźnie.

Modele wpływu otoczenia trasy na postoje użytkowników rowerów miejskich

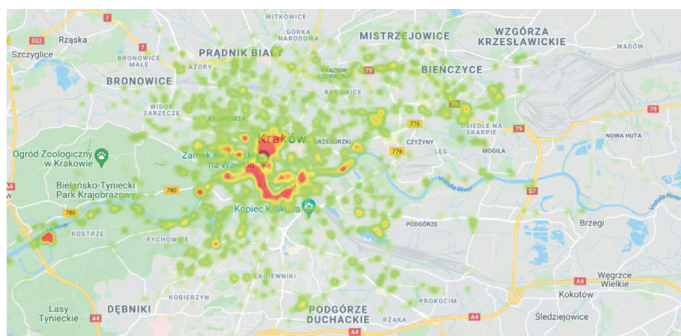
Dane, które posłużyły do wykonania analiz w ramach niniejszego artykułu, pozyskane zostały dzięki uprzejmości operatora krakowskiego systemu rowerów miejskich Wavelo – firmy BikeU. Dane te obejmują 8 dni 2017 roku – od 31 maja do 7 czerwca. Okres analizy przypada na szczyt turystyczny, a ponadto podróżom rowerowym w analizowanym okresie sprzyjały warunki pogodowe – średnia temperatura powietrza wahała się od 16,7°C do 21,3°C, opady deszczu miały charakter przelotny, a ciśnienie powietrza oscylowało wokół 1015 hPa [38]. Dane z systemu rowerów miejskich zostały oczyszczone według autorskiej metodyki opisanej w [39]. Spośród 34 969 rekordów w próbce nieoczyszczonej uzyskano informacje o 27 859 podróżach. Zasadność przyjętej metodyki potwierdza normalizowanie się rozkładu średniej prędkości podróży w próbce (rysunek 1).



Rys. 1. Rozkład średniej prędkości podróży w surowej próbce danych i próbce po każdym z etapów czyszczenia danych

Źródło: opracowanie własne

Z oczyszczonych danych pozyskane zostały informacje o postojach użytkowników rowerów miejskich. Zdecydowano o przeprowadzeniu filtrowania postojów celem sprawdzenia, czy jest możliwe wydzielenie postojów niepowodowanych czynnościami technicznymi czy kwestiami ruchowymi. Zaproponowana metodyka opisana została w [40]. Po przeprowadzonym procesie filtrowania sprawdzono rozkład przestrzenny postojów w postaci mapy ciepła (rysunek 2).



Rys. 2. Mapa ciepła postojów w wyfiltrowanej próbce danych

Źródło: opracowanie własne, mapa: Google Maps

Ponadto określono podstawowe statystyki wyfiltrowanych postojów (średnia, odchylenie standardowe, wartość minimalna i maksymalna oraz kwantyle: 25%, 50% i 75%). Zostały one przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1

Statystyki wyfiltrowanej próbki postojów							
	Średnia	Odchylenie standardowe	Min	25%	50%	75%	Max
Czas postojów [min]	4,66	9,32	0,52	1,33	1,50	4,25	138,17

Źródło: opracowanie własne

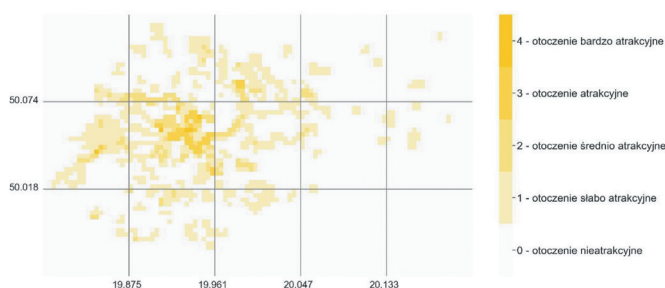
Dane te pokazują, że w wyfiltrowanej próbce danych o postojach, najkrótszy z nich trwał 31 s, natomiast najdłuższy 2 h 18 min 10 s, przy czym średni postój trwał 4 min 40 s. Przyjęta metodyka pozwoliła zatem wyeliminować z próbki pierwotnej wartości anormalne, np. postój o długości ponad 8 h, co wynikało najprawdopodobniej z pozostawienia roweru przy stacji bez jego zwrócenia w systemie.

Modele przygotowane zostały w oparciu o siatkę pól – każde w rozmiarze 300 x 300 m. Każdemu z pól przypisana została liczba postojów w analizowanym okresie oraz sumaryczny czas postojów. Na potrzeby przygotowania modeli wpływu otoczenia trasy na postoje użytkowników rowerów miejskich, liczbę i sumaryczny czas postojów przedstawiono w postaci zmiennej dychotomicznej na podstawie percentyla rzędu 0,95, tj. liczba 1 została przypisana połom, dla których istnieje bardzo duże prawdopodobieństwo wystąpienia wielu postojów lub sumaryczny czas postojów będzie znaczący. Ponadto każdemu z pól przypisane zostały występujące w nim walory krajobrazowe, tj.:

- zabytki architektury i budownictwa – obejmujące budynki różnego przeznaczenia: mieszkalne, sakralne, gospodarcze, itd.,

- zabytki techniki – obejmujące budowle inżynierskie, np. bulwary wiślane, aleję Waszyngtona, wiadukt Talowskiego na ulicy Lubicz,
- zabytkowe obszary i tereny zielone, np. Planty, Park Krakowski, Młynówka Królewska, obszar pasa startowego dawnego lotniska Rakowice-Czyżyny,
- parki,
- parki leśne,
- ciekki wodne,
- zbiorniki wodne.

Pełna procedura opracowanej waloryzacji otoczenia trasy na potrzeby przygotowania modeli jej wpływu na postoję użytkowników rowerów miejskich przedstawiona została w [41]. Na podstawie wymienionych wyżej siedmiu walorów krajobrazowych określony został dla każdego pola siatki poziom atrakcyjności otoczenia trasy, który został przedstawiony na rysunku 3.



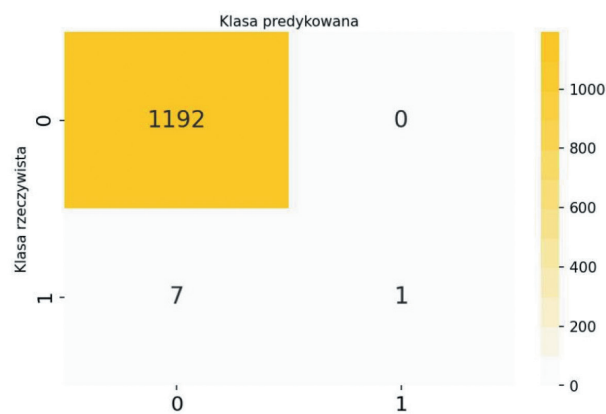
Rys. 3. Waloryzacja otoczenia trasy w Krakowie

Źródło: opracowanie własne

Jak chodzi o opracowany model wpływu atrakcyjności otoczenia trasy na liczbę postojów użytkowników rowerów miejskich, to dzięki programowi napisanemu w języku Python, na podstawie zbioru treningowego zmiennej objaśniającej opisującej poziom atrakcyjności otoczenia trasy dla danego pola siatki waloryzacyjnej (a) i zbioru treningowego zmiennej objaśnianej y_1 , mówiącej o prawdopodobieństwie tego, że liczba postojów będzie duża, określono model regresji logistycznej, który przyjął postać:

$$y_1 \cong \frac{1}{1 + e^{-(1,77*a-6,13)}} \quad (1)$$

Na podstawie testu t-Studenta, na poziomie prawdopodobieństwa równym 99,9% współczynnik regresji opracowanego modelu jest istotny statystycznie. Dzięki powyższemu modelowi dla zbioru testowego zmiennych objaśniających, obliczono wartości predykowane zmiennej objaśnianej y_1 . Oceny jakości i poprawności modelu klasyfikacyjnego dokonano na podstawie tablicy (macierzy) pomyłek (ang.: confusion matrix). Macierz ta ma wymiar $N \times N$, gdzie wiersze odpowiadają poprawnym klasom decyzyjnym (klasy rzeczywiste), a kolumny decyzjom przewidywanym przez klasyfikator (klasy predykowane). Liczba n_{ij} na przecięciu wiersza i oraz kolumny j to liczba przykładów z klasy i -tej, które zostały zaklasyfikowane do klasy j -tej [42].



Rys. 4. Tablica pomyłek dla modelu wpływu atrakcyjności otoczenia na liczbę postojów
Źródło: opracowanie własne

Tablica pomyłek dla powyższej opracowanego modelu przedstawiona jest na rysunku 4.

Na powyższej tablicy wartość 1192 odpowiada liczbie przewidywań prawdziwie negatywnych (ang.: True-Negative), wartość 1 to liczba przewidywań prawdziwie pozytywnych (ang.: True-Positive), wartość 0 mówi o liczbie przewidywań fałszywie negatywnych (ang.: False-Negative), natomiast wartość 7 określa liczbę przewidywań fałszywie pozytywnych (ang.: False-Positive).

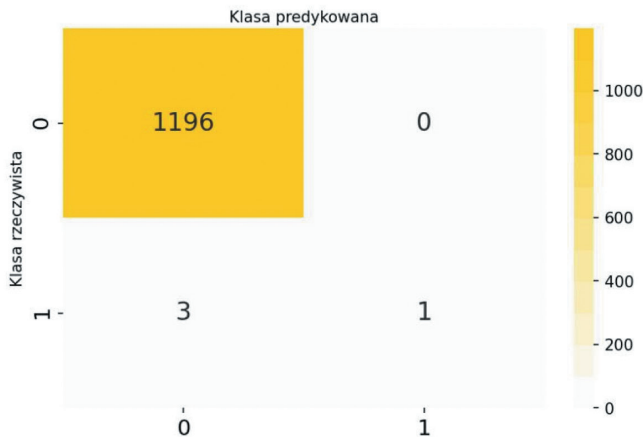
Dokładność (ang.: accuracy) otrzymanego modelu wynosi 99,4%, precyzja (ang.: precision), czyli stosunek wyników prawdziwie ujemnych do sumy prawdziwie ujemnych i fałszywie dodatnich wynosi 100%, a czułość modelu (ang.: recall) określająca stosunek wyników prawdziwie dodatnich do sumy prawdziwie dodatnich i fałszywie ujemnych wynosi 12,5%. Wskaźniki te potwierdzają bardzo dobrą jakość dopasowania modelu. Ponadto jakość klasyfikacji powyższego modelu została zwizualizowana za pomocą krzywej ROC, przy czym wyznaczono także pole pod krzywą (auc – ang.: area under ROC curve). Dzięki temu wskaźnikowi można określić jakość klasyfikacji za pomocą krzywej ROC. W analizowanym przypadku wskaźnik ten wynosi 0,97, tj. zbliża się do 1, która oznacza klasyfikator idealny.

W drugim kroku opracowano model logistyczny dla zbadania tego czy istnieje zależność pomiędzy atrakcyjnością otoczenia a prawdopodobieństwem wystąpienia długich postojów użytkowników rowerów miejskich. Z pomocą zaimplementowanego w języku Python narzędzia, na podstawie zbioru treningowego zmiennej objaśniającej opisującej poziom atrakcyjności otoczenia trasy dla danego pola siatki waloryzacyjnej (a) i zbioru treningowego zmiennej objaśnianej y_2 , mówiącej o prawdopodobieństwie tego, że łączny czas postojów będzie duży, określono model regresji logistycznej, który przyjął postać:

$$y_2 \cong \frac{1}{1 + e^{-(1,75*a-5,99)}} \quad (2)$$

Na podstawie testu t-Studenta na poziomie prawdopodobieństwa równym 99,9%, współczynnik regresji opracowanego modelu jest istotny statystycznie. Z uży-

ciem powyższego modelu dla zbioru testowego zmiennych objaśniających, obliczono wartości predykowane zmiennej objaśnianej y_2 . Oceny jakości i poprawności modelu klasyfikacyjnego także dokonano na podstawie tablicy pomyłek, która dla powyżej opracowanego modelu przedstawiona została na rysunku 5.



Rys. 5. Tablica pomyłek dla modelu wpływu atrakcyjności otoczenia na łączny czas postojów
Źródło: opracowanie własne

Dokładność otrzymanego modelu wynosi 99,8%, precyzja, wynosi 100%, a czułość modelu wynosi 25%. Wskaźniki te potwierdzają bardzo dobrą jakość dopasowania modelu. Ponadto jakość klasyfikacji powyższego modelu została sprawdzona za pomocą krzywej ROC. W analizowanym przypadku wskaźnik *auc* wynosi niemalże 0,95, tj. zbliża się do 1, która oznacza klasyfikator idealny, co tylko potwierdza bardzo dobrą jakość opracowanego modelu.

Podsumowanie

Rozwój zrównoważonej mobilności w miastach jest ogólnosięciowym trendem, który można zaobserwować w ostatnich latach. W hasła związane ze zrównoważoną mobilnością wpisują się wszelkie działania mające na celu zmianę wzorców mobilności ludzi w kierunku proekologicznych rozwiązań, takich jak przyjazny dla środowiska transport publiczny czy rozwój ruchu pieszego i rowerowego. Najpełniejszym wyrazem idei zrównoważonego transportu w miastach są systemy rowerów publicznych, które stały się tematem niniejszego artykułu na przykładzie systemu, który funkcjonował w Krakowie. W oparciu o wyczyszczone dane o podróżach użytkowników systemu Wavelo, ich postojach oraz na podstawie zgromadzonych danych o atrakcyjności otoczenia trasy, opracowano modele regresji logistycznej, dzięki którym możliwe jest wyznaczenie obszarów, w których z bardzo wysokim prawdopodobieństwem nastąpi dużo postojów użytkowników rowerów miejskich lub sumaryczny czas tychże postojów będzie znaczący.

Głównym celem badań było opracowanie narzędzia, które pomoże decydentom i urbanistom w wyznaczaniu miejsc, które są atrakcyjne dla użytkowników rowerów

miejskich. W praktyce pozwala to na identyfikację miejsc, w których powinno się zwrócić szczególną uwagę na kształtowanie przestrzeni publicznej pod kątem urządzeń małej architektury i lokalizowania mebli miejskich umożliwiających odpoczynek. Ponadto, zidentyfikowane dzięki opracowanemu modelowi miejsca są wskazówką dla operatorów systemów rowerów publicznych, gdzie powinno się zwrócić szczególną uwagę na lokalizowanie „stacji wirtualnych”, czyli stref, gdzie możliwe jest pozostawienie roweru bez fizycznie zainstalowanych stacji. Biorąc pod uwagę rozwój hulajnóg elektrycznych, często zastępujących rowery miejskie, możliwe jest użycie opracowanego modelu do wyznaczenia miejsc atrakcyjnych także dla użytkowników tego typu systemu, co jest kluczowe dla decydentów w wyznaczaniu stref, w których można pozostawić hulajnogi elektryczne. Jest to istotne z uwagi na przepisy w ramach nowelizacji Prawa o ruchu drogowym, które weszły w maju 2021 roku, mówiące o konieczności pozostawiania hulajnóg elektrycznych w miejscach wyznaczonych przez zarządcę drogi [43]. Wniosek ten wymaga jednak dodatkowych badań, które porównają wzorce mobilności użytkowników rowerów publicznych i hulajnóg elektrycznych.

Literatura

- Hunt J.D., Abraham J.E., *Influences on bicycle use*, „Transportation” (Amst.), vol. 34, no. 4, 2007, doi: 10.1007/s11116-006-9109-1.
- Sener I. N., Eluru N., Bhat C. R., *An Analysis of Bicycle Route Choice Preferences Using a Web-Based Survey to Examine Bicycle Facilities*, „Transportation” (Amst.), vol. 36, no. 5, 2009.
- Rudloff C., Lackner B., *Modeling Demand for Bikeshaaring Systems*, Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board, vol. 2430, no. 1, Jan. 2014, doi: 10.3141/2430-01.
- Shaheen S., Guzman S., Zhang H., *Bikeshaaring in Europe, the Americas, and Asia*, Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board, vol. 2143, no. January 2010, doi: 10.3141/2143-20.
- Pogodzińska S., *Szacowanie natężenia ruchu rowerowego na podstawie danych z systemu rowerów miejskich*, „Transport Miejski i Regionalny”, 2018, nr 1.
- Wang Z., Cheng L., Li Y., Li Z., *Spatiotemporal characteristics of bike-sharing usage around rail transit stations: Evidence from Beijing, China*, Sustain., vol. 12, no. 4, 2020, doi: 10.3390/su12041299.
- Wang J., Lindsey G., *Neighborhood socio-demographic characteristics and bike share member patterns of use*, J. Transp. Geogr., vol. 79, p. 102475, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.jtrangeo.2019.102475.
- Rodrigue J.-P., Comtois C., Slack B., *The Geography of Transport Systems*, 2009.
- Tran T. D., Ovtracht N., D’Arcier B. F., *Modeling bike sharing system using built environment factors*, Procedia CIRP, vol. 30, 2015, doi: 10.1016/j.procir.2015.02.156.
- Dębowska-Mróż M., Lis P., *Kształtowanie przestrzeni transportowej dedykowanej pieszym i rowerzystom jako element poprawy mobilności w miastach*, „Autobusy”, 2017, nr 12.
- Turner S., Sandt L., Toole J., Benz R., Patten R., *FHWA University Course on Bicycle and Pedestrian Transportation: Student Workbook*, 2006, <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/pedbike/05085/pdf/combinedlo.pdf>.

12. Fall M., Dąbrowski M., *Jak rowery miejskie tworzą „smart cities*, Biała Księga Mobilności, 2015.
13. Nair R., Miller-Hooks E., Hampshire R.C., Bušić A., *Large-Scale Vehicle Sharing Systems: Analysis of Vélolib'*, Int. J. Sustain. Transp., vol. 7, no. 1, 2013, doi: 10.1080/15568318.2012.660115.
14. DeMaio P., *Bike-sharing: History, impacts, models of provision, and future*, J. Public Transp., vol. 12, no. 2004, 2009, doi: 10.1016/0965-8564(93)90040-R.
15. Shaheen S., Guzman S., Zhang H., *Bikesharing in Europe, the Americas, and Asia*, Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board, vol. 2143, no. January 2010, doi: 10.3141/2143-20.
16. *The Meddin Bike-sharing World Map*, <https://bikesharingworldmap.com/#/all/2.3/115.34/0/> (dostęp: 30.05.2021).
17. Dębowska-Mróż M., Lis P., Szymanek A., Zawisza T., *Rower miejski jako element systemu transportowego w miastach*, „Autobusy”, 2017, nr 6.
18. Bryniarska Z., Wilk N., *Ocena systemu wypożyczalni rowerów miejskich Wavelo w rakowie*, „Transport Miejski i Regionalny”, 2018, nr 10.
19. *Zobacz, jak promuje się Wavelo – Magiczny Kraków*, https://www.krakow.pl/aktualnosci/205572,29,komunikat,zobacz_jak_promuje_sie_wavelo.html (dostęp: 30.05.2021).
20. Imani A. F., Eluru N., El-Geneidy A., Rabbat M., Haq U., *How does land-use and urban form impact bicycle flows: Evidence from the bicycle-1 sharing system (BIXI) in Montreal*, 2014, doi: 10.1002/jgrd.50214.
21. Frade I., Ribeiro A., *Bicycle Sharing Systems Demand*, Procedia – Soc. Behav. Sci., vol. 111, no. February 2014, doi: 10.1016/j.sbspro.2014.01.085.
22. Nikiforiadis A., Aifadopoulou G., Grau J. M. S., Boufidis N., *Determining the optimal locations for bike-sharing stations: Methodological approach and application in the city of Thessaloniki, Greece*, Transportation Research Procedia, Jan. 2021, vol. 52, doi: 10.1016/j.trpro.2021.01.066.
23. Etienne C., Latifa O., *Model-Based count series clustering for bike sharing system usage mining: a case study with the Vélolib' System of Paris*, ACM Trans. Intell. Syst. Technol., vol. 5, no. 3, Jul. 2014, doi: 10.1145/2560188.
24. Zhao J., Fan W., Zhai X., *Identification of land-use characteristics using bicycle sharing data: A deep learning approach*, J. Transp. Geogr., vol. 82, no. August 2019, 2020, doi: 10.1016/j.jtrangeo.2019.102562.
25. Cantelmo G., Kucharski R., Antoniou C., *A low dimensional model for bike sharing demand forecasting*, MT-ITS 2019 – 6th Int. Conf. Model. Technol. Intell. Transp. Syst., 2019, doi: 10.1109/MTITS.2019.8883283.
26. Barth M., Todd M., *Simulation model performance analysis of a multiple station shared vehicle system*, Transp. Res. Part C Emerg. Technol., vol. 7, no. 4, 1999, doi: 10.1016/S0968-090X(99)00021-2.
27. Chen L. i in., *Dynamic cluster-based over-demand prediction in bike sharing systems*, Materiały: 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing – UbiComp '16, 2016, doi: 10.1145/2971648.2971652.
28. Liu J., Sun L., Chen W., Xiong H., *Rebalancing bike sharing systems: a multi-source data smart optimization*, Materiały: 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining – KDD '16, 2016, doi: 10.1145/2939672.2939776.
29. Lin F., Jiang J., Fan J., Wang S., *A stacking model for variation prediction of public bicycle traffic flow*, Intell. Data Anal., vol. 22, no. 4, Jun. 2018, doi: 10.3233/IDA-173443.
30. Kou Z., Cai H., *Understanding bike sharing travel patterns: An analysis of trip data from eight cities*, Phys. A Stat. Mech. its Appl., vol. 515, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.physa.2018.09.123.
31. Froehlich J., Neumann J., Oliver N., *Sensing and predicting the pulse of the city through shared bicycling*, IJCAI Int. Jt. Conf. Artif. Intell., no. 3, 2009, doi: 10.1.1.150.4370.
32. Buck D., Buehler R., *Bike lanes and other determinants of capital bikeshare trips*, Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board, 2012, <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Bike+Lanes+and+Other+Determinants+of+Capital+Bikeshare+Trips#0>.
33. Daddio D. W., *Maximizing Bicycle Sharing: an empirical analysis of capital bikeshare usage*, 2012.
34. Wang X. i in., *Modeling Bike Share Station Activity: The Effects of Nearby Businesses and Jobs on Trips to and from Stations*, Transp. Res. Rec., 2012.
35. Rixey R., *Station-Level Forecasting of Bikesharing Ridership*, Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board, vol. 2387, 2013, doi: 10.3141/2387-06.
36. Lin P., Weng J., Hu S., Alivanistos D., Li X., Yin B., *Revealing Spatio-Temporal Patterns and Influencing Factors of Dockless Bike Sharing Demand*, IEEE Access, vol. 8, Apr. 2020, doi: 10.1109/access.2020.2985329.
37. Brinkmann J., *Active Balancing of Bike Sharing Systems*, Braunschweig, Germany, 2020.
38. *Historyczne dane pomiarowe – Dane meteorologiczne Kraków Balice*, <https://meteomodel.pl/dane/historyczne-dane-pomiarowe/?data=2017-06-07&rodzaj=st&imgwid=350190566&dni=60&ord=desc> (dostęp: 18.05.2021).
39. Naumov V., Banet K., *Estimating parameters of demand for trips by public bicycle system using GPS data*, Adv. Intell. Syst. Comput., vol. 1091 AISC, no. January 2020, doi: 10.1007/978-3-030-35543-2_17.
40. Banet K., *Using data on bike-sharing system user stopovers in smart tourism: A case study*, Commun. – Sci. Lett. Univ. Zilina, vol. 23, no. 2, Jul. 2021, doi: 10.26552/COM.C.2021.2.G1-G12.
41. Banet K., *Modelowanie wpływu otoczenia trasy na parametry podróży rowerami miejskimi*, Politechnika Krakowska, 2021.
42. Novakovic J., Veljovi A., Ilic S., Papic Z., Tomovic M., *Evaluation of Classification Models in Machine Learning*, Theory Appl. Math. Comput. Sci., vol. 7, no. 1, 2017, <https://uav.ro/applications/se/journal/index.php/TAMCS/article/view/158>.
43. *Nowe przepisy dotyczące hulajnogów elektrycznych i urządzeń transportu osobistego – Ministerstwo Infrastruktury – Portal Gov.pl*, <https://www.gov.pl/web/infrastruktura/nowe-przepisy-dotyczace-hulajnog-elektrycznych-i-urzadzen-transportu-osobistego> (dostęp: 30.05.2021).