

Wyznaczenie optymalnych lokalizacji stacji roweru miejskiego na obszarze miasta Piaseczno z wykorzystaniem analiz przestrzennych

Finding the optimal locations of the bike stations in Piaseczno city using spatial analysis

Monika Mitrowska, Anna Fijałkowska, Jerzy Chmiel

Politechnika Warszawska, Wydział Geodezji i Kartografii

Słowa kluczowe: analiza wielokryterialna, analizy sieciowe, rower miejski, planowanie przestrzenne

Keywords: multi-criteria analysis, network analysis, urban bike, spatial planning

Wstęp

Coraz częściej decyzje podejmowane z zakresu planowania lub zarządzania przestrzenią miejską są poprzedzone odpowiednio zaprojektowanymi i przeprowadzonymi analizami z szerokiego zestawu analiz przestrzennych, które mają na celu wsparcie procesu decyzyjnego (Białousz, 2013). Ograniczenie się tylko do tradycyjnych metod postępowania często staje się już niewystarczające. Takiemu podejściu sprzyja także coraz lepszy dostęp do szerokiego spektrum danych przestrzennych oraz narzędzi i technologii GIS. Coraz częściej decyzje z zakresu planowania, na poziomie jednostek samorządowych, są podejmowane z wykorzystaniem technologii SIP (Chmiel i in., 2014). Przy złożonych decyzjach lokalizacji inwestycji, szczególnie cennym źródłem informacji stają się wyniki analiz przestrzennych, w tym również analiz sieciowych.

Technologia analiz sieciowych od wielu lat jest wykorzystywana w tworzeniu scenariuszy i podejmowaniu decyzji w planowaniu przestrzennym. Bogaty zestaw algorytmów umożliwia wyznaczenie optymalnych tras, obszarów obsługi, zarządzanie flotą pojazdów lub wybór optymalnych lokalizacji obiektów i usług (alokacji). Wielu autorów daje przykłady przeobrażeń tej technologii nad klasycznymi mapami odległości. Są wśród nich: planowanie rozwoju sieci transportowej (Bast i in., 2016), ocena dostępności transportu publicznego (Ford i in., 2015), ocena poruszania się po mieście z zastosowaniem wielomodalnego modelu sieci (Djurhuus, 2016) i wiele innych, w tym badania w dziedzinie transportu rowerowego: zwiększanie priorytetu dla ruchu rowerowego (Lovry i in., 2016), badania zachowań poruszających się

rowerami (Yeboah i in., 2015), bądź też oceny i zagrożeń bezpieczeństwa rowerzystów (Thomas i in., 2017).

System wypożyczalni roweru miejskiego uznawany jest za jeden z podstawowych elementów każdego nowoczesnego systemu transportu miejskiego. Stanowi on naturalne uzupełnienie innych środków transportu. Istotą roweru miejskiego jest dzielenie się środkiem transportu z innymi użytkownikami, co zmniejsza nakład finansowy na podróż, ogranicza zatłoczenie ulic oraz poprawia jakość powietrza. Wybór odpowiednich lokalizacji stacji ma kluczowe znaczenie dla zapewnienia optymalnego użytkowania oraz zarządzania systemem. Punkty dokowania powinny być usytuowane w taki sposób, aby: można było je znaleźć w dogodnych odstępach czasu na terenie danego obszaru oraz występowały one w lokalizacjach maksymalizujących wykorzystanie systemu. W realizacji tak postrzeganych wymagań, na etapie planowania jako wsparcie dla decydentów, istotną rolę mogą odgrywać właściwie zaprojektowane i wykonane analizy wielokryterialne oraz sieciowe, co jest przedmiotem rozważań niniejszego opracowania, w którym wykorzystano wyniki pracy magisterskiej o zbliżonym tytule (Mitrowska, 2017).

W artykule, po krótkim wprowadzeniu do podjętej tematyki, przedstawiono istotne elementy metodyki oraz uzyskane wyniki przeprowadzonych analiz przestrzennych, mających na celu wskazanie optymalnych lokalizacji stacji wypożyczeń roweru miejskiego na obszarze miasta Piaseczno. Na podstawie właściwie dobranych danych wejściowych oraz odpowiednio zaprojektowanych i przeprowadzonych analiz przestrzennych uzyskano ocenę przydatności obszaru miasta Piaseczno dla lokalizacji stacji rowerowych. Następnie wykonano analizy sieciowe prowadzące do wskazania najlepszych lokalizacji. Celem ostatniego etapu analiz był wybór takich punktów, do których dotrze możliwie jak najwięcej osób (potencjalnych użytkowników), w jak najkrótszym czasie. W końcowym etapie wypracowano propozycje zawierające lokalizacje dziesięciu stacji rowerowych w 4 wariantach.

Otrzymane wyniki wskazują na istotną przewagę zaproponowanej metodyki w porównaniu do klasycznych narzędzi analiz przestrzennych stosowanych w omawianym obszarze zastosowań.

Idea roweru miejskiego

System roweru publicznego zapoczątkowany został w 1965 roku w Amsterdamie, kiedy to po raz pierwszy uruchomione zostały tak zwane „Białe Rowery”. Kilkaset pomalowanych białą farbą rowerów umieszczono na ulicach miasta, aby mieszkańcy i turyści mogli z nich bezpłatnie korzystać (DeMaio, 2009). Po kilku dniach funkcjonowania systemu, znaczna część rowerów została wrzucona do kanałów, zniszczona lub skradziona. Pomimo niepowodzenia pierwszej odsłony amsterdamskiego pomysłu, idea była dalej realizowana w miastach holenderskich: Kopenhadze i Helsinkach.

Obecne systemy rowerów publicznych w znaczący sposób różnią się od „Białych Rowarów”. Rozwój techniki daje nowe możliwości wprowadzenia różnych metod identyfikacji użytkownika, na przykład: dedykowane karty RFID (ang. *Radio Frequency Identification*) – technologia, która wykorzystuje fale radiowe do przesyłania danych (Grabowski, 2004), karty kredytowe, karty miejskie lub telefony komórkowe. Usprawnienie zarządzania siecią możliwe jest również dzięki monitorowaniu stanu technicznego rowerów i wykorzystania systemu. Rowery publiczne zdobywają coraz większą popularność jako element systemu

transportowego w miastach niemal całego świata. Podstawowym założeniem wprowadzenia miejskich rowerów jest zrównoważony transport, gdyż komunikacja rowerowa należy do najbardziej pożądanых systemów transportu w mieście.

Funkcjonują różne systemy (modele) wypożyczania rowerów publicznych (Brzeziński i in., 2009). Powszechny staje się model zautomatyzowany z punktami dokowania rowerów. System ten korzysta z bardziej zaawansowanych technologii. Składa się z: parku rowerowego, samoobsługowych punktów wypożyczalni (wypożyczenia/oddawania rowerów), stacji dokujących. Obsługa wypożyczalni odbywa się w sposób automatyczny. Stacje mają specjalne panele sterujące, które umożliwiają użytkownikowi: rejestrację w systemie, dokonywanie opłat oraz dostęp do informacji na temat działania systemu. Każda wypożyczalnia wyposażona jest w stacje dokujące, do których przypinane są rowery. Przykładem tego typu rozwiązania jest działający od 1 sierpnia 2012 roku warszawski system roweru publicznego *Veturilo*.

Pomimo pewnych ograniczeń lub trudności w korzystaniu z systemów rowerów miejskich (Adamowicz, 2014; Sierpiński, 2012), system wypożyczalni roweru miejskiego jest uznawany za podstawowy element każdego nowoczesnego systemu transportu miejskiego. Jest on naturalnym uzupełnieniem innych środków transportu, głównie transportu publicznego. Idea roweru miejskiego tworzy długą listę pozytywnych skutków (Kalina, 2016). Część z nich wywołanych jest przez bezpośrednie działanie, część stanowi pośrednie rezultaty użytkowania, a jeszcze inna grupa skutków jest odczuwalna dopiero w perspektywie długoterminowej.

W planowaniu lokalizacji stacji rowerowych bardzo ważne jest, żeby znajdowały się one w pobliżu: sieci transportu publicznego, węzłów komunikacyjnych, obszarów mieszkalnych, centrów handlowych, miejsc wypoczynku związanych z turystyką, instytucji publicznych itp. Holenderska organizacja standaryzacyjna CROW w 1993 roku wydała podręcznik: „Sign Up For The Bike” (CROW, 1993) z późniejszą aktualizacją (wydanie polskie „Postaw na Rower”, 1999). W publikacji zawarte są podstawowe wytyczne dotyczące projektowania infrastruktury rowerowej. Autorzy przedstawili podstawowe wymogi wyboru miejsca lokalizacji: parkingu, stacji i przechowalni dla rowerów (Standardy i wytyczne..., 2016). Zalecenia te, jak również dotychczas funkcjonujące w kraju rozwiązania były przedmiotem bliższej analizy na etapie doboru założeń, w tym kryteriów lokalizacji, dla potrzeb niniejszego opracowania.

Obszar opracowania

Miasto Piaseczno położone jest w północnej części gminy Piaseczno, w odległości około 3 km od południowych granic dzielnicy Ursynów w Warszawie. Gmina wchodzi w skład aglomeracji warszawskiej. Zespół Piaseczyński tworzy przedłużenie południowego zurbanizowanego pasma Warszawy, kreując z nim ciągły układ zabudowy. Jest on największym zespołem miejskim w południowym obszarze zurbanizowanym Obszaru Metropolitalnego Warszawy. Według danych z Urzędu Miasta i Gminy Piaseczno, w dniu 31 marca 2017 roku Piaseczno miało 44 125 mieszkańców. Gęstość zaludnienia wynosiła 2702 osoby/km². Obszar miasta obejmuje powierzchnię około 1,6 tysiąca hektarów. Przeważają tereny zabudowane (około 66%), wody powierzchniowe stanowią około 2% powierzchni miasta, a grunty zadrzewione i zakrzewione – około 10% powierzchni. Na terenie Piaseczna występują tereny zieleni urządzonej, są to głównie dwa miejskie parki oraz ogródki działkowe,

które chętnie odwiedzają mieszkańcy Piaseczna i Warszawy. Miasto graniczy od południa z Chojnowskim Parkiem Krajobrazowym. Komunikacja autobusowa w mieście Piaseczno zapewniana jest przez: Zarząd Transportu Miejskiego w Warszawie, Przedsiębiorstwo PKS Piaseczno oraz prywatnych przewoźników. Przez teren Piaseczna przebiega trasa linii kolejowej relacji Warszawa-Radom. Podstawowym środkiem komunikacji jest jednak transport indywidualny. Schemat komunikacyjny dla miasta Piaseczna przedstawiono na rysunku 1.

Ruch rowerowy Piaseczna koncentruje się w centralnej części miasta. Generują go głównie jednostki handlowo-usługowe. Podczas weekendów oraz dni wolnych kumulacja ruchu rowerowego występuje na terenach leśnych i rekreacyjnych. Z powodu małej gęstości sieci ścieżek rowerowych, natężenie ruchu jest niewielkie. Według danych Urzędu Miasta i Gminy Piaseczno przez teren miasta przebiega obecnie ponad 13 kilometrów ścieżek rowerowych. Schemat ścieżek rowerowych miasta Piaseczno przedstawiono na rysunku 2. Trasy te tworzą nieregularną siatkę połączeń, co stanowi duże utrudnienie dla osób poruszających się rowerami. W trakcie projektowania jest ponad 18 kilometrów ścieżek rowerowych, z czego część dofinansowana będzie z funduszy europejskich w ramach Zintegrowanych Inwestycji Terytorialnych. W dalszej przyszłości siatkę dróg rowerowych uzupełnić mają ścieżki planowane, których będzie aż 53 kilometry.

Kryteria wyboru lokalizacji stacji roweru miejskiego

Ważnym działaniem przed definiowaniem odpowiednich kryteriów, jest określenie adresatów planowanej inwestycji. To, dla kogo projektowany będzie system ma zasadniczy wpływ na wyznaczenie lokalizacji poszczególnych stacji rowerowych. W tym celu wykorzystano między innymi badania ankietowe wykonane na potrzeby raportu: Veturilo po 2016 roku koncepcja funkcjonowania warszawskiego roweru publicznego (Chwastek i in., 2015). W ankietach wzięło udział około 2500 respondentów.

Zakłada się, że z systemu będą korzystali głównie mieszkańcy miasta oraz osoby dojeżdżające do pracy lub szkoły. W przypadku Piaseczna jednym z założeń, do tworzenia systemu wypożyczalni rowerowych, jest kompatybilność z systemami istniejącymi w sąsiednich jednostkach samorządowych.

Dobór kryteriów lokalizacji optymalnych miejsc dla stacji roweru miejskiego jest kluczowym etapem tego rodzaju inwestycji. W zależności od dobranych czynników i ograniczeń mogą być generowane różne warianty lokalizacji. W prezentowanym opracowaniu uwzględnione zostały nie tylko ogólne zasady organizowania infrastruktury rowerowej i potrzeby głównych użytkowników systemu, ale również lokalizacje stacji w miastach o podobnych uwarunkowaniach. Na tym etapie istotne były również informacje i ustalenia w ramach współpracy z pracownikami Urzędu Miasta i Gminy Piaseczno.

Według „Studium układu komunikacyjnego Gminy Piaseczno” (Studium, 2008), jednym z największych źródeł ruchu rowerowego są duże osiedla mieszkaniowe skupione na terenie miasta. Głównymi celami podróżujących rowerami są: centrum miasta, główne urzędy, część handlowa i usługowa, centra handlowe, szkoły oraz stacje kolejowe. Wypożyczalnie powinny znajdować się zatem w miejscach, w których będzie z nich mogło skorzystać jak najwięcej osób. Stan rozmieszczenia mieszkańców w poszczególnych rejonach miasta odzwierciedla zabudowa mieszkaniowa. Zdecydowano się na wykorzystanie w odpowiedni sposób danych o budynkach mieszkalnych, gdyż dla przeprowadzonych analiz dostępne dane urzęd-

Rysunek 1. Schemat komunikacyjny dla miasta Piaseczno – opracowanie na podstawie danych z Urzędu Miasta i Gminy Piaseczno (źródło: Mitrowska, 2017)



Rysunek 2. Schemat ścieżek rowerowych miasta Piaseczno – opracowanie na podstawie danych z Urzędu Miasta i Gminy Piaseczno na podkładzie OpenStreetMap (źródło: Mitrowska, 2017)



dowe GUS (siatka kilometrowa z zagęszczeniem ludności) byłyby danymi o niewystarczającej dokładności geometrycznej). W tym względzie, najbardziej przydatne obszary będą stanowiły miejsca, w których występuje największe zagęszczenie zabudowy mieszkaniowej – obszary zabudowy wielorodzinnej. W przypadku Piaseczna jest to centralna i północno-zachodnia część miasta.

Ważnym aspektem jest usytuowanie stacji blisko miejsc najczęściej odwiedzanych przez mieszkańców – będą to: obiekty użyteczności publicznej, sklepy, urzędy i miejsca rekreacyjne. System wypożyczalni wdrażany w Piasecznie powinien tworzyć uzupełnienie transportu zbiorowego. Takie założenie znacznie zwiększy atrakcyjność roweru miejskiego oraz rozszerzy zasięg i dystans podróży. Stacje roweru miejskiego powinny być zlokalizowane w pobliżu przystanków i węzłów przesiadkowych, zarówno autobusowych, jak i kolejowych. Istotnym założeniem jest również odpowiednie położenie punktów wypożyczeń względem ścieżek rowerowych (istniejących, projektowanych i planowanych w przyszłości), po których będą poruszać się potencjalni użytkownicy systemu. Konieczne jest także uwzględnienie w odpowiedni sposób istniejącej sieci komunikacyjnej (drogi, ulice) w aspekcie jej zagęszczenia oraz istniejącego natężenia ruchu.

W rezultacie, przyjęto następujące kryteria dla wyznaczania optymalnych miejsc powstania stacji roweru miejskiego:

- 1) jak największe zagęszczenie zabudowy mieszkaniowej,
- 2) jak największe zagęszczenie obiektów użyteczności publicznej,
- 3) w bliskim sąsiedztwie miejsc rekreacyjnych (parków, placów),
- 4) w pobliżu przystanków autobusowych,
- 5) w pobliżu przystanków kolejowych,
- 6) w miejscach o największym zagęszczeniu ścieżek rowerowych,
- 7) w bliskim sąsiedztwie miejsc o największym zagęszczeniu sieci dróg,
- 8) w miejscach o największym natężeniu ruchu.

Jednocześnie wzięto pod uwagę tereny wykluczające powstanie stacji rowerowych, do których zaliczono: istniejące budynki, budowle, cmentarze, wody powierzchniowe, kompleksy przemysłowo-gospodarcze, elementy dróg, tereny pod drogami i koleją. Przyjęto także założenie, aby obszary warunkujące powstanie stacji rowerowych stanowiły tereny znajdujące się we władaniu gminy Piaseczno.

Dane wejściowe

Podstawowe źródła danych stanowiły: Baza Danych Obiektów Topograficznych (BDOT10k), dane z Urzędu Miasta i Gminy Piaseczno (między innymi drogi rowerowe, budynki użyteczności publicznej, elementy jezdni), dane z portalu OpenStreetMap (warstwa zawierająca przystanki autobusowe) oraz uzupełniająca wektoryzacja z wykorzystaniem podkładu ortofotomapy (w tym elementy infrastruktury drogowej, ścieżki piesze na terenie miasta).

Pozyskane dane wymagały różnego typu przekształcenia i dostosowania do potrzeb planowanych analiz. W niektórych przypadkach konieczne było wykonanie licznych uzupełnień, na przykład ścieżki rowerowe z zaburzoną topologią. Na etapie przygotowania, weryfikacji i uzupełniania danych bardzo cenne były także konsultacje z pracownikami Urzędu Miasta i Gminy Piaseczno. Istotne było również zapoznanie się z istniejącymi informacjami i materiałami dotyczącymi aktualnych i przyszłych działań w obszarze miasta i gminy powiązanych z podjętą w prezentowanym opracowaniu tematyką.

Analizy przestrzenne

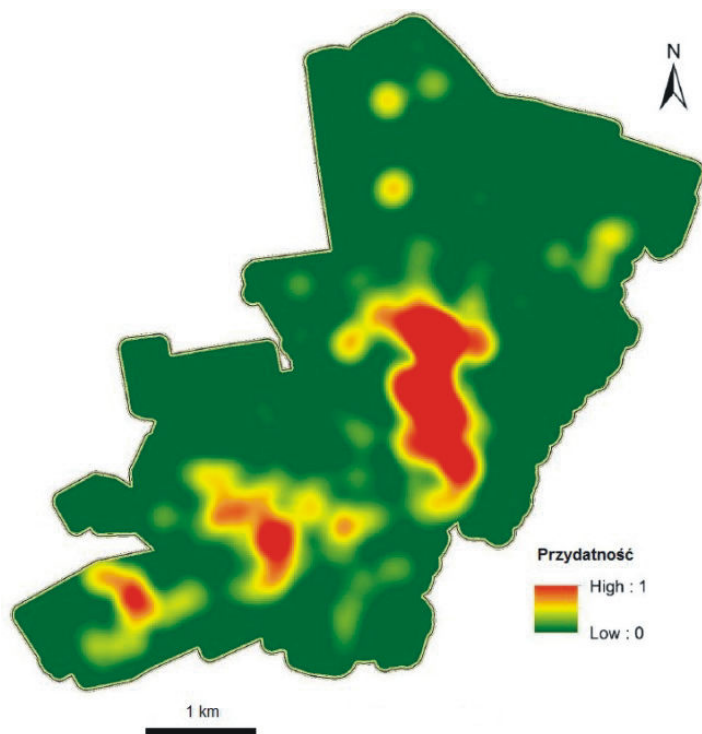
Do przeprowadzenia analiz wykorzystano oprogramowanie ArcGIS firmy Esri. Celem pierwszej części pracy (analiz) było określenie przydatności danego obszaru (miasta) pod lokalizację stacji rowerowych. Ta część analiz została wykonana zgodnie z metodyką analiz wielokryterialnych. Po przygotowaniu danych wykonane zostały odpowiednie analizy generujące rozkłady odległości (*Euclidean Distance*), jako przygotowanie do realizacji podanych wyżej kryteriów: 3, 4, 5 oraz analizy gęstości (*Kernel Density*) do realizacji kryteriów: 1, 2, 6, 7, 8. Wynikiem analiz były obrazy rastrowe prezentujące odpowiednio do danego kryterium rozkład odległości lub natężenie określonego zjawiska.

Kolejnym krokiem było wygenerowanie map przydatności terenu pod lokalizację stacji rowerowych dla przyjętych wcześniej kryteriów (1-8), traktując je jako kryteria miękkie (rozmyte) i przydzielając na ich podstawie każdemu pikselowi wartość od 0 do 1, gdzie 1 oznacza tereny najbardziej przydatne pod względem opracowywanego kryterium. W tym celu wykorzystano odpowiednie narzędzie z zakresu logiki rozmytej (*Fuzzy Membership*) i typ funkcji liniowej oraz otrzymane wcześniej obrazy (mapy) rastrowe będące wynikiem odpowiednio analiz odległości lub gęstości. Z uwagi na ograniczenia co do objętości publikacji zamieszczono poniżej przykładowe obrazy wynikowe przydatności terenu dla wybranych kryteriów: mapa przydatności terenu pod lokalizację stacji rowerowych z uwzględnieniem obiektów użyteczności publicznej (rys. 3), mapa przydatności terenu pod lokalizację stacji rowerowych z uwzględnieniem istniejących i planowanych ścieżek rowerowych (rys. 4).

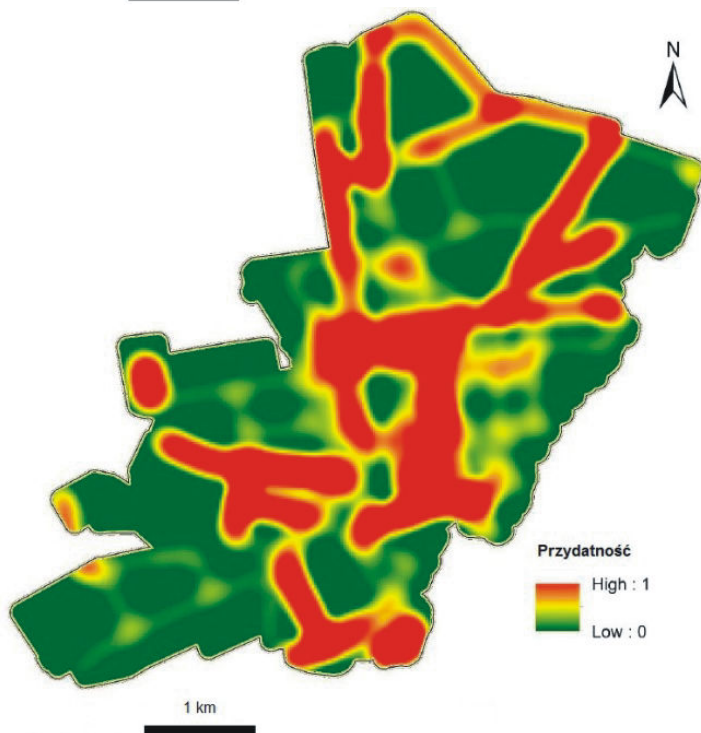
Kolejnym działaniem było utworzenie ostatecznej mapy przydatności (ujmującej łączną przydatność, to jest kryteriów 1-8) przez połączenie otrzymanych obrazów rastrowych (map przydatności dla poszczególnych kryteriów) w jeden raster wynikowy za pomocą narzędzia nakładania rastrow. W tym celu wykorzystano narzędzie sumy ważonej (*Weighted Sum*), pozwalające zsumować wynikowe obrazy rastrowe dla poszczególnych kryteriów przy uwzględnieniu nadanych im wcześniej odpowiednich wag (krytera: 1-0,2; 2-0,2; 3-0,05; 4-0,1; 5-0,2; 6-0,1; 7-0,05; 8-0,1). Wynik ilustrujący przydatność całkowitą terenu pod lokalizację stacji rowerowych przedstawiono na rysunku 5. Po analizie otrzymanego wyniku postanowiono do dalszych badań wykorzystać tylko najlepszą klasę przydatności (20% najwyższych wartości przydatności) wstępnie ograniczając obszar do kolejnego etapu analiz. W tym celu zamieniono wynikową warstwę rastrową na format wektorowy (punkty) (*Raster to Point*). W rezultacie otrzymano 4017 punktów (rys. 6) o najwyższej przydatności.

Następnie wzięto pod uwagę tereny wykluczające powstanie stacji rowerowych, do których zaliczono: istniejące budynki, budowle, cmentarze, wody powierzchniowe, kompleksy przemysłowo-gospodarcze, elementy dróg, tereny pod drogami i koleją oraz uwzględniono warunek, aby stacje rowerowe mogły być budowane na terenach znajdujących się we władaniu gminy Piaseczno. W wyniku powyższych działań otrzymano punkty reprezentujące potencjalne lokalizacje stacji roweru miejskiego w Piasecznie. Łącznie wyznaczono 438 punktów. Obiekty te odpowiadają kryteriom i zasadom przyjętym do lokalizacji stacji.

W drugiej części prac wykonano analizy sieciowe (z rozszerzeniem *Network Analyst*) z wykorzystaniem miejsc (lokalizacji) o najwyższej przydatności, jako wyników pierwszej części analiz (438 potencjalnych lokalizacji). Miało to na celu ostateczny wybór takich punktów, do których będzie możliwe dotarcie jak największej liczby osób, w jak najkrótszym czasie. Zgodnie z przyjętymi założeniami wybranych lokalizacji stacji powinno być 10,

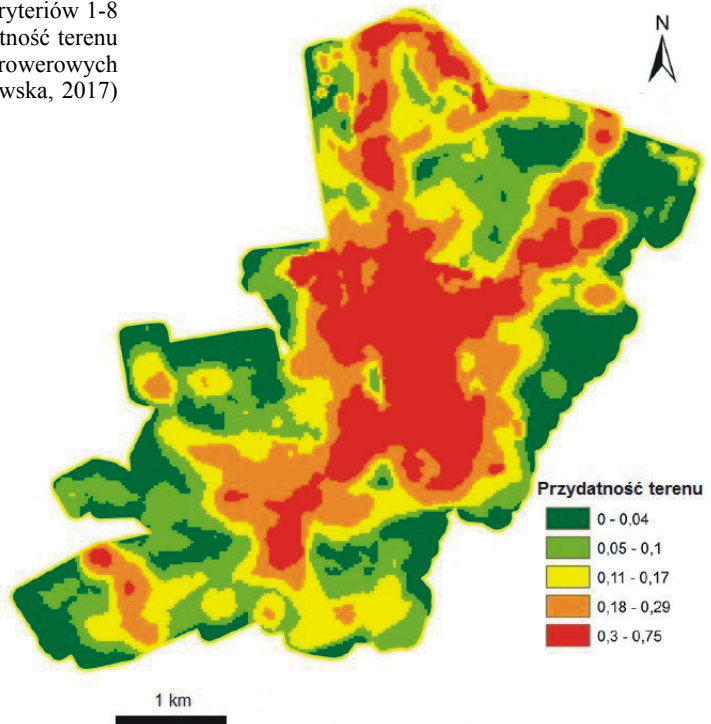


Rysunek 3. Mapa przydatności terenu pod lokalizację stacji rowerowych z uwzględnieniem obiektów użyteczności publicznej (źródło: Mitrowska, 2017)

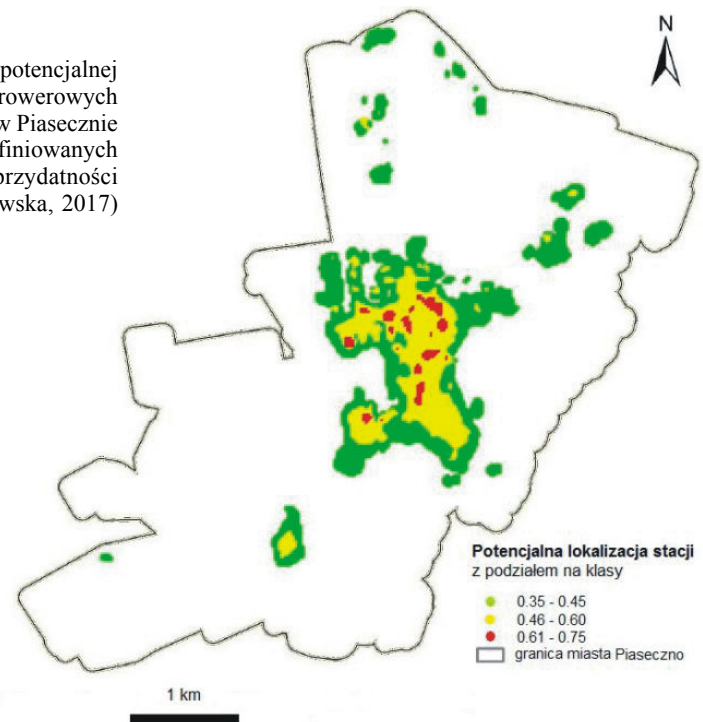


Rysunek 4. Mapa przydatności terenu pod lokalizację stacji rowerowych z uwzględnieniem istniejących i planowanych ścieżek rowerowych (źródło: Mitrowska, 2017)

Rysunek 5. Wynik łączenia kryteriów 1-8 ilustrujący łączną przydatność terenu pod lokalizację stacji rowerowych (źródło: Mitrowska, 2017)



Rysunek 6. Punkty potencjalnej lokalizacji stacji rowerowych w Piasecznie w odniesieniu do zdefiniowanych przedziałów przydatności (źródło: Mitrowska, 2017)



a zatem przeprowadzenie analiz sieciowych pozwoliło na dokonanie optymalnego wyboru 10 stacji z 438 proponowanych lokalizacji. Bez względu na wartość łącznej przydatności wybranych produktów, wszystkie lokalizacje stacji traktowane są jako jednakowo przydatne. Ponadto w dalszych badaniach (w dwóch ze scenariuszy analiz sieciowych) uwzględnione zostały arbitralnie dwie lokalizacje stacji zaproponowane przez pracowników urzędu Miasta i Gminy Piaseczno. Znajdują się one przy stacji kolejowej Piaseczno i przy Urzędzie Miasta i Gminy Piaseczno.

Jak już wspomniano wcześniej, przyjęto, że liczba wyłonionych lokalizacji wyniesie 10 oraz zdecydowano, że czas dojścia do stacji ma wynieść maksymalnie 10 minut. Wykorzystano do tej analizy model alokacji (*Location-Allocation*) z wykorzystaniem następujących warstw: punktowej zawierającej potencjalne lokalizacje stacji rowerowych (obiekty typu *Facilities*), liniowej zawierającej ścieżki piesze wraz z odpowiednimi atrybutami (długość odcinka, czas przejścia) (*Network Dataset*), punktowej zawierającej budynki wraz z atrybutem – wagą (obiekty typu *Demand Points*). Wagi budynków odzwierciedlały szacunkową liczbę mieszkańców.

Wszystkie rodzaje analizy alokacji wskazują optymalne lokalizacje na podstawie sumarycznej wagi (*Total weight*) przypisanej potencjalnym punktom lokalizacji. Ostatecznie wybierana jest wskazana liczba punktów na podstawie rankingu wynikającego z wartości wag sumarycznych. Rodzaje dostępnych analiz (*Problem Type*) różnią się algorytmem obliczania wag sumarycznych i typami obiektów składowych analizy (na przykład uwzględnienie położenia obiektów konkurencji). Ze względu na specyfikę zaplanowanej analizy sieciowej – potrzeba uwzględnienia rozmieszczenia potencjalnych użytkowników rowerów miejskich (lokalizacji zamieszkania) wykorzystano dwa rodzaje analizy: *Maximize Attendance* (algorytm tak wybiera lokalizacje, by liczba mieszkańców w zasięgu stacji była jak największa oraz ich czas dojścia do stacji był jak najkrótszy) oraz *Maximize Market Share* (algorytm tak wybiera lokalizacje, by liczba mieszkańców w zasięgu stacji była jak największa oraz by stacje swoim zasięgiem pokrywały jak największą część analizowanego obszaru). Inne dostępne algorytmy zostały uznane za niepasujące do założeń wykonywanej analizy – np. *Minimize Impedance* nie uwzględnia rozmieszczenia punktów zapotrzebowania, które w istotny sposób warunkują uzyskiwane w analizach sieciowych wyniki.

W wyniku przeprowadzonych analiz sieciowych uzyskano 4 warianty rozmieszczenia „najlepszych” 10 punktów, które charakteryzują się najkorzystniejszymi lokalizacjami dla stacji rowerowych w Piasecznie, zgodnie z przyjętymi kryteriami. Rysunki 7 do 10 przedstawiają kolejne warianty lokalizacji stacji roweru miejskiego w Piasecznie na podkładzie OSM, z uwzględnieniem budynków obsługiwanych przez wybrane stacje.

Dwa pierwsze warianty powstały z wykorzystaniem analizy typu maksymalizacji frekwencji (*Maximize Attendance*). Wyniki w tych realizacjach skupione są w centralnej części miasta, gdzie występuje zabudowa wielorodzinna oraz największe zagęszczenie ludności. Wariant 3 i 4 zrealizowano przez analizę typu maksymalizacji udziału w rynku (*Maximize Market Share*). Wyniki te różnią się diametralnie od poprzednich wersji. Lokalizacje rozmieszczone są stosunkowo równomiernie na całym obszarze miasta Piaseczna. Wariant 2 i 4 uwzględniły dwa stałe punkty rozmieszczenia stacji rowerowych, które zaproponowane zostały przez decydentów miasta i gminy Piaseczno. Przeprowadzona została dalsza ocena uzyskanych wariantów, między innymi wyselekcjonowano budynki obsługiwane przez stacje w 10-minutowym czasie dojścia oraz obliczono stosunek ich powierzchni do powierzchni wszystkich budynków mieszkalnych w Piasecznie, co w sposób przybliżony pozwala

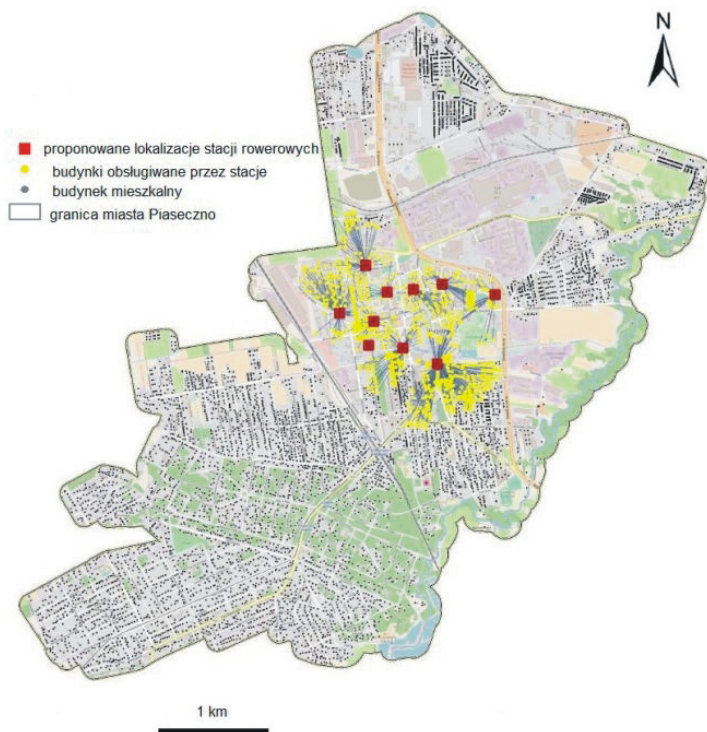
oszacować procentowy udział mieszkańców obsługiwanych przez planowany system w każdej wersji. Najkorzystniejszymi w tym względzie okazały się wariant 3 i 4, gdzie stacje zapewnić mogą obsługę dla ponad połowy mieszkańców miasta. Z kolei argumentem popierającym wybór jednego z dwóch pierwszych wariantów jest odległość pomiędzy stacjami. Według raportu nowojorskiego ITDP: „The Bike-share Planning Guide” (2018), jedną z głównych cech udanego systemu roweru miejskiego jest gęsta sieć systemu, ze średnimi odległościami między stacjami 300 metrów. W przypadku wariantu 1 i 2 są to odległości w granicach od 240 do 480 metrów. Natomiast w wariantach 3 i 4 od 310 do 1400 metrów. Lokalizacje wyznaczone w wariantach 2 znajdują się w pobliżu: obiektów użyteczności publicznej, szkół, parków, przystanków autobusowych, głównych ulic. Jest to wynik poprawny, biorąc pod uwagę wytyczne przyjęte podczas analiz przestrzennych. Jednak rozmieszczenie stacji skoncentrowane jest w centralnej części miasta, co nie zapewnia obsługi całego opracowywanego obszaru. W przypadku tego wariantu duży wpływ na wybór miejsc powstania stacji, miały wagi punktów wytypowanych w ramach analiz przestrzennych. Sprawilo to zlokalizowanie stacji w miejscach kumulacji określonych wcześniej kryteriów. W stosunku do wariantu pierwszego największe zmiany spowodowane były wprowadzeniem stałego punktu stacji przy dworcu PKP, co w niewielkim stopniu rozszerzyło obszar obsługi potencjalnych użytkowników.

Wariant 3 charakteryzuje się zdecydowanie większym niż pozostałe, tak zwanym obszarem obsługi – widać, że stacje rozłożone są na większym obszarze miasta, a nie skupione jedynie w części centralnej, charakteryzującej się znaczącym udziałem zabudowy wielorodzinnej. Zastosowany typ analizy maksymalizacji udziału w rynku (*Maximize Market Share*) uwzględnia w znacznie mniejszym stopniu wagi punktów wejściowych. W tym przypadku nacisk został położony na zmaksymalizowanie liczby obiektów obsługiwanych przez stacje roweru miejskiego (dostęp osób zamieszkałych w budynkach). Obiekty w dalszym ciągu zlokalizowane są w sąsiedztwie: usług, szkół, przystanków, głównych ulic, ale nie znajdują się stosunkowo blisko siebie i nie są zlokalizowane jedynie w centralnej części miasta. Dodatkowo wytypowane zostały stacje w obszarach mieszkalnictwa jednorodzinne. Taki rozkład zapewni dostęp do określonego środka transportu nie tylko dla mieszkańców centrum miasta, ale również dla pozostałej części mieszkańców. Przeprowadzona ocena uzyskanych wariantów wskazuje na wariant 3 jako najbardziej przydatny.

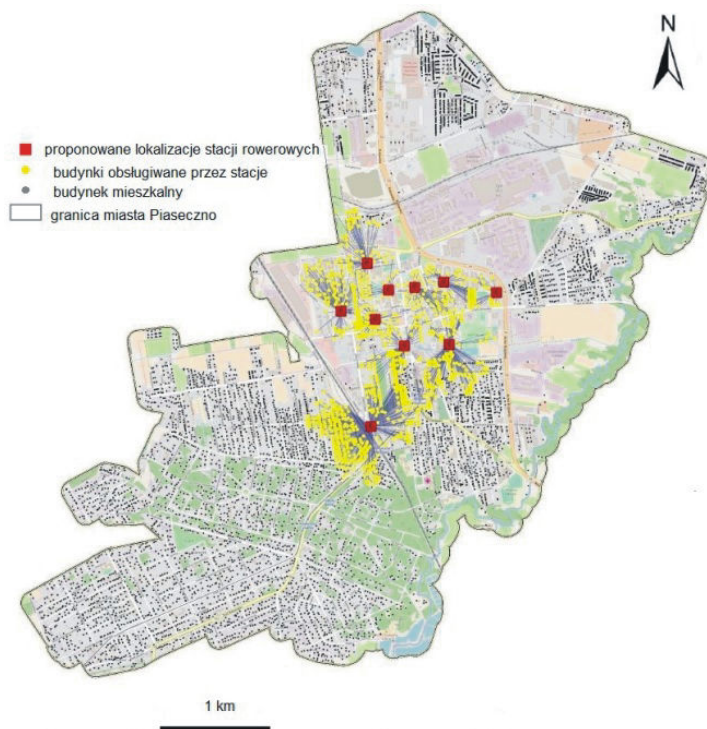
Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone dla obszaru miasta Piaseczno analizy umożliwiły wyznaczenie różnych wariantów lokalizacji stacji roweru miejskiego. Klasyczna analiza wielokryterialna pozwoliła na wstępne wyznaczenie obszarów o wysokiej przydatności dla realizacji określonej inwestycji. Otrzymane lokalizacje spełniają postawione wymogi. Znajdują się w pobliżu: obiektów użyteczności publicznej, przystanków komunikacji miejskiej, szkół, parków itp. Obszary przydatności wyznaczone zostały na podstawie wyselekcjonowanych kryteriów, ważnych z punktu widzenia jednostek samorządu terytorialnego oraz potencjalnych użytkowników systemu. Kryteria obejmowały zarówno gęstość występowania danego zjawiska, jak i odległości od obiektów.

Uzupełnienie (bądź raczej w tym przypadku rozszerzenie) wielokryterialnych analiz przestrzennych stanowiły analizy sieciowe. Wśród koniecznych danych wymagane były dane

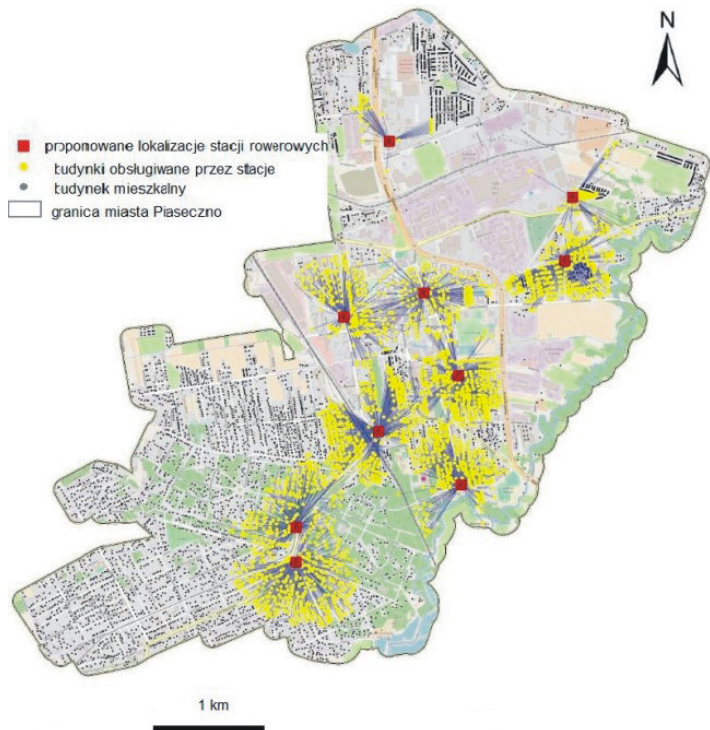


Rysunek 7. Mapa proponowanych lokalizacji stacji rowerowych w Piasecznie (na podkładzie danych OSM) – wariant 1 (źródło: Mitrowska, 2017)

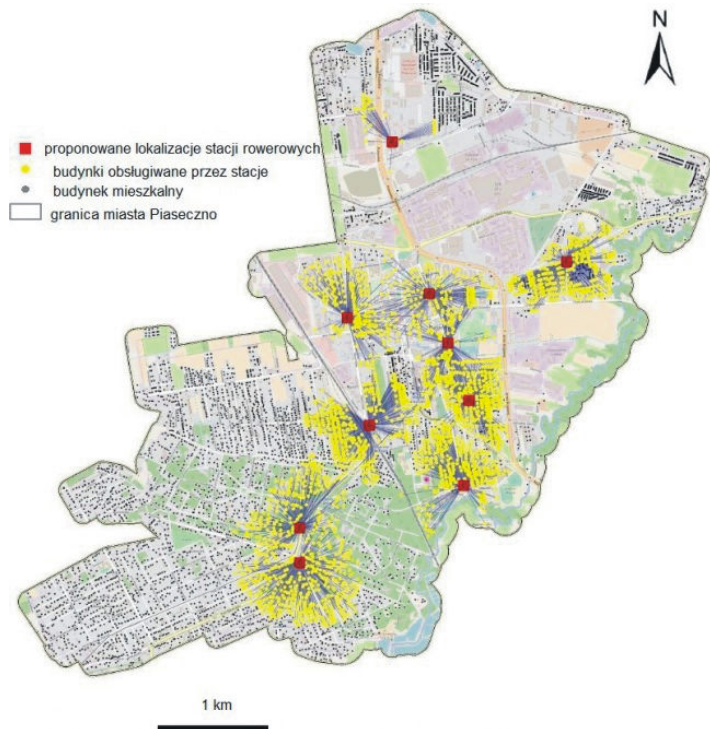


Rysunek 8. Mapa proponowanych lokalizacji stacji rowerowych w Piasecznie (na podkładzie danych OSM) – wariant 2 (źródło: Mitrowska, 2017)

Rysunek 9. Mapa proponowanych lokalizacji stacji rowerowych w Piasecznie (na podkładzie danych OSM) – wariant 3 (źródło: Mitrowska, 2017)



Rysunek 10. Mapa proponowanych lokalizacji stacji rowerowych w Piasecznie (na podkładzie danych OSM) – wariant 4 (źródło: Mitrowska, 2017)



o trasach poruszania się pieszych. Jest to pracochłonny proces digitalizacji dróg, po których poruszają się przechodnie. Jednak zbudowana raz sieć daje możliwość uszczegółowienia lokalizacji inwestycji oraz rozmieszczenia elementów infrastruktury rowerowej tak, by zoptymalizować dostęp do rowerów jak największej liczbie mieszkańców w założonym czasie. Ważnym aspektem podczas realizacji części praktycznej prezentowanej pracy, był wybór źródeł danych. Do niektórych danych źródłowych dostęp okazał się ograniczony lub niemożliwy. Podczas analiz, odzwierciedleniem (z pewnym przybliżeniem) liczby mieszkańców w poszczególnych budynkach, była powierzchnia całkowita obiektu. Niezbędny w tej sytuacji byłby, chociaż szacunkowy model gęstości zaludnienia (o wymaganej szczegółowości), również niedostępny w bazach danych referencyjnych.

Oprogramowanie i zaimplementowane algorytmy dają możliwość testowania różnych scenariuszy lokalizacji inwestycji, w zależności od: zdefiniowanej liczby stacji, maksymalnego czasu dojazdu, kryteriów ograniczających i determinujących lokalizację lub typu stosowanej analizy sieciowej. Otrzymane wyniki, w celu wyboru najlepszego wariantu, powinny zostać poddane procesowi konsultacji społecznych, to jest zasięgnięciu opinii od osób, które będą głównymi beneficjentami planowanej inwestycji.

Właściwie dobrane i wykonane analizy przestrzenne mogą bardzo dobrze wspierać proces planowania przestrzennego. Pozwalają na uzyskiwanie lepszych rozwiązań i tym samym bardziej racjonalne gospodarowanie terenami. W czasie, kiedy rezerwy terenowe w miastach są coraz mniejsze, odpowiedni wybór lokalizacji każdej inwestycji ma bardzo duże znaczenie.

Podziękowania. Autorzy składają podziękowania Pracownikom Urzędu Miasta i Gminy Piaseczno za udostępnienie danych i współpracę, która była pomocna na różnych etapach realizacji zadań. Autorzy dziękują dwóm anonimowym Recenzentom za wnikliwe i bardzo pomocne uwagi.

Finansowanie. Tematyka pracy była wpisana w badania statutowe Zakładu Fotogrametrii Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej, Wydziału Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej.

Literatura (References)

- Adamowicz Paweł, 2014: Porozmawiajmy o rowerze publicznym (Let's talk about public bicycles). Dostęp 11.2017 r. adamowicz.pl/2014/02/25/porozmawiajmy-o-rowerze-publicznym/
- Bast Hannah, Delling Daniel, Goldberg Andrew, Müller-Hannemann Matthias, Pajor Thomas, Sanders Peter, Wagner Dorothea, Werneck Renato F., 2016: Route planning in transportation networks. [Chapter in:] *Algorithm engineering*: 19-80, Springer, Cham.
- Białousz Stanisław (red.), 2013: *Informacja Przestrzenna dla Samorządów Terytorialnych (Spatial information for local governments)*. Warszawa, Oficyna Wydawnicza PW.
- Brzeziński Andrzej, Dobrosielski Maciej, Dybicz Tomasz, Jesionkiewicz-Niedzińska Karolina, Rezwow-Mosakowska Magdalena, Szałaga Piotr, Szymański Łukasz, Włodarek Paweł, 2009: *Studium koncepcyjne Systemu Roweru Publicznego dla m.st. Warszawy (A conceptual study of the Public Bicycles System for the City of Warsaw)*. Opracowanie wykonane na zlecenie Biura Drogownictwa i Komunikacji.
- Chmiel Jerzy, Fijałkowska Anna, Łoś Helena, 2014: Przegląd możliwości wykorzystania analiz przestrzennych w realizacji wybranych zadań z zakresu zarządzania dla obszaru gminy (Review of possibilities to use spatial analyses in implementation of selected management tasks of a community). *Roczniki Geomatyki* 12 (1): 31-39, Warszawa, PTIP.
- CROW, 1993: Sign up for the bike. Design manual for a cycle-friendly infrastructure. CROW Record. Issue 10: 325p. Publisher: C.R.O.W. Netherlands.

- Chwastek Konrad, Franek Łukasz, Struska Paulina, Szpórnóg Mateusz, Wiertel Bartłomiej, Wiśniowski Adam, 2015: Veturilo po 2016 roku. Koncepcja funkcjonowania warszawskiego roweru publicznego (Veturillo after 2016. A concept of operations of Warsaw public bicycles). ZTM Warszawa, Kraków, 116 s.
- DeMaio Paul, 2009: Bike-sharing: History, Impacts, Models of Provision, and Future. *Journal of Public Transportation* 12 (4): 41-56.
- Djurhuus Sune, Sten Hansen Henning, Aadahl Mette, Glümer Charlotte, 2016: Building a multimodal network and determining individual accessibility by public transportation. *Environment and Planning B: Planning and Design* 43 (1): 210-227.
- Ford Alistair C., Barr Stuart L., Dawson Richard J., James Philip, 2015: Transport accessibility analysis using GIS: Assessing sustainable transport in London. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 4 (1): 124-149.
- Grabowski Tomasz, 2004: Wybrakowane metki – problemy bezpieczeństwa RFID (Defective tie-on tags – security issues of the RFID). Dostęp 2018 r. <https://www.computerworld.pl/news/Wybrakowane-metki,306257.html>
- Kalina Janett, 2016: Policy and Political Involvement. Fact Sheet. WP 2: Communication & Organisation Knowledge Centres.
- Lowry Michael B., Furth Peter, Hadden-Loh Tracy, 2016: Prioritizing new bicycle facilities to improve low-stress network connectivity. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 86: 124-140. Elsevier.
- Mitrowska Monika, 2017: Wyznaczenie optymalnych lokalizacji stacji roweru miejskiego na obszarze miasta Piaseczno z wykorzystaniem analiz przestrzennych (Finding the optimal locations of the bike stations in Piaseczno city using spatial analysis). Praca dyplomowa magisterska napisana pod kierunkiem Jerzego Chmiela. Politechnika Warszawska, Wydział Geodezji i Kartografii.
- Postaw na rower – podręcznik projektowania przyjaznej dla rowerów infrastruktury (Sign Up For The Bike – the manual for designing a bicycle-friendly infrastructure), 1999: Wydawnictwo Polski Klub Ekologiczny, Zarząd Główny, Kraków.
- Sierpiński Grzegorz, 2012: Zachowania komunikacyjne osób podróżujących a wybór środka transportu w mieście (The choice problems of alternative transportation modes in city). *Prace naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport* z. 84: 93-106.
- Standardy i wytyczne kształtowania infrastruktury rowerowej (Standards and guidelines for arrangements of bicycle infrastructure), 2016: Górnośląski Związek Metropolitalny: 96 s.
- Studium układu komunikacyjnego Gminy Piaseczno (Public transport system study of Piaseczno Municipality), 2008: Projekt nr 124749. Ove Arup & Partners International Limited Sp. z o. o. Oddział w Polsce. Dostęp 2018. <http://bip.piaseczno.eu/artykuly/209/studium-ukladu-komunikacyjnego>
- The Bike-share Planning Guide, nd.: ITDP. New York: 152p. Dostęp 2018. https://www.itdp.org/wp-content/uploads/2014/07/ITDP_Bike_Share_Planning_Guide.pdf
- Thomas Isabelle, Int Panis Luc, Vandenbulcke Gregory, 2017: On the location of reported and unreported cycling accidents: A spatial network analysis for Brussels. *Cybergeo: European Journal of Geography* 818. DOI: 10.4000/cybergeo.28073.
- Yeboah Godwin, Alvanides Seraphim, 2015: Route Choice Analysis of Urban Cycling Behaviors Using OpenStreetMap: Evidence from a British Urban Environment. [Chapter in:] *OpenStreetMap in GIScience*: 189-210. Springer, Cham.

Streszczenie

Artykuł przedstawia kolejne etapy prac i wyniki przeprowadzonych analiz przestrzennych (przydatności terenu), mających na celu wskazanie optymalnych lokalizacji stacji roweru miejskiego (wypożyczalni) na obszarze miasta Piaseczno. Na podstawie właściwie dobranych danych wejściowych oraz odpowiednio zaprojektowanych i przeprowadzonych analiz przestrzennych uzyskano ocenę przydatności obszaru miasta Piaseczno dla lokalizacji stacji rowerowych. Istotne etapy analizy prowadzącej do wskazania najlepszych lokalizacji przeprowadzono także z wykorzystaniem analiz sieciowych. W artykule zwrócono ponadto uwagę na właściwy dobór danych w tego rodzaju analizach, jak

również zawarto rozważania metodyczne dotyczące kluczowych etapów postępowania i poszczególnych analiz. Otrzymane wyniki wskazują na dużą przydatność zaproponowanych metod w omawianym obszarze zastosowań.

Abstract

The paper presents the stages of work and the results of spatial analyses, aiming at indicating optimal locations of a city bike stations in the area of the city of Piaseczno. Based on properly selected input data along with designed and conducted spatial analyses (suitability mapping type), the usefulness of the area of the city of Piaseczno for the location of bicycle stations was obtained. Significant stages of the analysis leading to selection of the best locations were also conducted using network analyses. Furthermore, the paper highlights the proper selection of data for such type of analyses, as well as methodological considerations regarding the key stages of works and particular analyses. The obtained results indicate the high usefulness of the proposed methods for the discussed application area.

Dane autorów / Authors details:

inż. Monika Mitrowska
monika_mitrowska@wp.pl

mgr inż. Anna Fijałkowska
<https://orcid.org/0000-0002-0567-9863>
anna.fijalkowska@pw.edu.pl

dr hab. inż. Jerzy Chmiel
<https://orcid.org/0000-0003-4656-4904>
jerzy.chmiel@pw.edu.pl

Przesłano / Received 7.05.2018
Zaakceptowano / Accepted 31.08.2018
Opublikowano / Published 15.11.2018