

**BADANIE DOSTĘPNOŚCI KOMUNIKACYJNEJ
WYBRANEJ LOKALIZACJI
Z WYKORZYSTANIEM FUNKCJI ANALIZ SIECIOWYCH**
ACCESSIBILITY STUDY OF A SELECTED LOCATION
USING NETWORK ANALYSIS FUNCTIONS

Piotr Cichociński, Ewa Dębińska

Katedra Geomatyki, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Słowa kluczowe: analizy sieciowe, dostępność komunikacyjna, OpenStreetMap, system informacji geograficznej

Keywords: network analysis, accessibility, OpenStreetMap, geographic information system

Wstęp

Pojęcie dostępności używane jest w wielu dziedzinach. Geografowie używają pojęcia dostępność na oznaczenie dostępności przestrzennej (Guzik, 2003). Najpopularniejsza definicja stwierdza, że dostępność *to łatwość osiągnięcia określonej lokalizacji z innej/innych lokalizacji* (Guzik, 2011). W dziedzinie transportu dostępność jest kategoryzowana na dostępność fizyczną, czasową, ekonomiczną, wielogałęziową – uwzględniającą różne środki transportu (zwaną też multimodalną) oraz dostępność transportu publicznego (Ministerstwo Infrastruktury, 2011). W zakresie wyceny nieruchomości dostępność komunikacyjna jest jedną z cech wpływających na wartości nieruchomości.

Miarą dostępności komunikacyjnej w zależności od kategorii może być czas, odległość lub wartość wyrażona w pieniądzu. Dostępność nie może być cechą wyłącznie jednej lokalizacji – zawsze mierzona jest pomiędzy co najmniej dwoma miejscami oraz ściśle zależy od środków jakimi pokonywana jest przestrzeń. Wyniki analiz dostępności z reguły prezentowane są w postaci odpowiednich map (Bielecka, Filipczak, 2010).

W artykule poddano analizie przypadek dostępności czasowej centrum Krakowa z terenów położonych w północnej części miasta, uwzględniając środki transportu zbiorowego (autobusy i tramwaje Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego – MPK) oraz ruch pieszy. Jak to zaprezentowano we wcześniejszych pracach (Cichociński, 2006, 2012) taki wariant przemieszczania składa się z dwóch niezależnych etapów: dojścia pieszo do przystanku, a następnie, po okresie oczekiwania, z przejazdu pojazdem komunikacji zbiorowej. Do zamodelowania tego problemu zaproponowano we wspomnianych publikacjach posłużyć się

rastrowym modelem danych. Jednak model rastrowy ma wady: żeby zachować wystarczającą szczegółowość trzeba posługiwać się pikselem o niezbyt dużym rozmiarze. W praktyce sprawdził się piksel o wielkości 1 m, co dla relatywnie niewielkiego analizowanego fragmentu Krakowa dało obraz rastrowy o rozmiarze ponad 12000×8000 pikseli. Rozszerzenie opracowania na większy obszar mogłoby spowodować przekroczenie możliwości przetwarzania współczesnych komputerów lub przynajmniej znacznie wydłużyć czas obliczeń. Dlatego w tej pracy zaproponowano zastosowanie modelu wektorowego i narzędzi wektorowych analiz sieciowych do rozwiązania zadania wyznaczenia dostępności komunikacyjnej. Istotną wadą analiz o charakterze wektorowym jest ograniczenie do poruszania się po elementach sieci, niestety również dla ruchu pieszego. Dlatego ważne jest pozyskanie informacji o przebiegu ścieżek i chodników, po których poza drogami i ulicami mogą poruszać się piesi, co zapewni maksymalną zgodność uzyskanych wyników z rzeczywistością.

Wektorowe analizy sieciowe

Pod pojęciem sieci należy rozumieć zbiór wzajemnie powiązanych obiektów: linii (zwanych krawędziami) – reprezentujących osie dróg i ulic oraz punktów (węzłów) – w mniejszej skali reprezentujących miasta, w większej odpowiadających skrzyżowaniom (Curtin, 2007). Wzdłuż krawędzi odbywa się analizowany ruch. Węzły występują na styku dwu lub więcej krawędzi i pozwalają na przepływ pomiędzy różnymi krawędziami. Aby sieć mogła funkcjonować jako model świata rzeczywistego, to z krawędziami musi być powiązana dodatkowa informacja. Jeden atrybut powinien informować o przejezdności tego odcinka (w jednym kierunku, w dwóch kierunkach, nieprzejezdny), natomiast wartość drugiego atrybutu powinna stanowić koszt ruchu wzdłuż danego odcinka sieci. Podstawowym i najłatwiejszym do uzyskania parametrem jest w tym przypadku długość odcinka, która może być w prosty sposób wyznaczona na podstawie geometrii obiektu. Jednak bardziej istotną cechą jest czas niezbędny do pokonania danego fragmentu sieci, będący ilorazem długości oraz prędkości przemieszczania się.

W oparciu o tego typu dane działają funkcje analiz sieciowych w oprogramowaniu systemów informacji geograficznej (GIS), badające możliwości poruszania się wzdłuż poszczególnych elementów składowych sieci. Najszerzej wykorzystywana i najczęściej spotykana jest funkcja znajdowania optymalnej trasy pomiędzy dwoma punktami. Podstawową metodą rozwiązania problemu poszukiwania najkrótszej drogi jest algorytm opublikowany w roku 1959 przez holenderskiego naukowca Edsgera Dijkstrę (Dijkstra, 1959).

W celu znalezienia najkrótszej drogi łączącej węzeł początkowy p z węzłem końcowym k algorytm Dijkstry zapisuje w postaci jednowymiarowej tablicy najkrótsze odległości od p do kolejno analizowanych węzłów. Z tablicy wybierany jest węzeł z przypisaną najmniejszą odległością od p i obliczane są odległości do wszystkich jego sąsiadów, dla których ta odległość wcześniej nie została wyznaczona. Proces wyboru węzła (spośród sąsiadów) i obliczania kolejnych odległości jest powtarzany do momentu dotarcia do węzła k .

Algorytm Dijkstry jest szczególnym przypadkiem bardziej ogólnego algorytmu A^* (A z gwiazdką – ang. *A star*), którego celem jest optymalizacja kolejności przeszukiwanych węzłów. W odróżnieniu od algorytmu Dijkstry przeglądającego węzły w kolejności losowej, algorytm A^* oblicza odległość euklidesową wybranego węzła od docelowego k i dodaje ją do bieżącej wyznaczonej najkrótszej odległości. Węzły charakteryzujące się najmniejszą su-

maryczną odległością są odwiedzane w pierwszej kolejności. Tym samym algorytm A* analizuje mniejszą liczbę węzłów i z reguły jest znacznie szybszy od innych rozwiązań (de Smith i in., 2007).

Oprócz funkcji znajdowania najlepszej trasy algorytmy te są podstawą działania jeszcze dwóch narzędzi: Obszar Obsługi oraz Macierz Kosztów Początek-Cel. Funkcja Obszar Obsługi wyznacza strefy, składające się z odcinków ulic, które są bliższe w sensie odległości, czasu lub kosztów do wybranego punktu sieci niż do jakiegokolwiek innego punktu (de Smith i in., 2007). Powstaje w ten sposób zbiór wszystkich linii (lub wielobok obejmujący te linie), tworzących ścieżki wychodzące z punktu centralnego, których sumaryczny opór mierzony od punktu centralnego wzdłuż tych ścieżek będzie nie większy niż założona wartość. Natomiast Macierz Kosztów Początek-Cel wyszukuje ścieżki najmniejszych kosztów wzdłuż sieci z wielu źródeł do wielu miejsc docelowych jednocześnie (Esri, 2011).

Zaproponowana w pracy koncepcja określenia dostępności komunikacyjnej polega na wyznaczeniu stref czasu dojścia do przystanków. Tradycyjnie przeprowadzona taka analiza ograniczyłaby się do określenia dostępności przystanków. Propozycja autorów idzie dalej, korzystając z możliwości jakie daje funkcja Obszar Obsługi zaimplementowana w module Network Analyst oprogramowania ArcGIS. Wyposażona jest ona w możliwość tak zwanego „opóźnionego startu” (Esri, 2011) polegającą na tym, że analiza rozpoczyna się z zadaną wartością startową. W efekcie wyznaczone obszary obsługi określają przedział czasowy, będący sumą czasu w jakim można pokonać dystans z punktu startowego i czasu wskazanego jako opóźnienie na punkcie startu.

Autorzy proponują, aby wartość „opóźniony start” była sumą czasu oczekiwania na przystanku oraz czasu dojazdu z danego przystanku do miejsca docelowego. Uzyskane w ten sposób strefy czasowej dostępności komunikacyjnej uwzględniają oprócz samego dojścia do przystanku również oczekiwanie i dojazd do centrum.

Dane

Przeprowadzenie w praktyce takiej analizy jest niemożliwe bez posiadania odpowiednich danych. W związku z dużą popularnością odbiorników GPS i szerokim ich zastosowaniem w nawigacji samochodowej istnieje wiele firm oferujących zbiory danych sieciowych. Jednak nabycie takich danych wiąże się ze znacznymi kosztami. Dlatego interesującą alternatywą może być tutaj OpenStreetMap (Haklay, Weber, 2008) – projekt społecznościowy mający na celu utworzenie edytowalnej i dostępnej bez ograniczeń mapy świata. Ponieważ dane te zostaną wykorzystane do analizy ruchu pieszego ich zaletą jest zawieranie, oprócz sieci dróg i ulic, również elementów, po których poruszają się piesi, czyli ścieżek i chodników. Dane pochodzące z takiego, nie posiadającego odgórnej kontroli jakości źródła, wymagają jednak weryfikacji, poprawienia wychwyconych błędów i uzupełnienia braków. O ile zapisaną w bazie danych OpenStreetMap sieć dróg i ulic publicznych, zwłaszcza w miastach, można uznać za kompletną, o tyle sieć ścieżek i innych dróg dla pieszych daleka jest od doskonałości. Jako przykład autorzy mogą podać teren kampusu AGH, na którym nie zaznaczono wielu możliwych dróg dla pieszych, tym samym stanowczo zakłamuje możliwość przejścia przez ten obszar.

Wybrane fragmenty bazy danych OpenStreetMap (OSM) można pobrać na różne sposoby. Najłatwiej dostępnym jest skorzystanie z zakładki „Eksport” okna mapy w przeglądarce

internetowej. Po określeniu przez podanie współrzędnych lub narysowanie na mapie interesującego zasięgu otrzymuje się plik w formacie XML z zapisem obiektów ze wskazanego obszaru. Ewentualnym problemem może być w tym przypadku konieczność zaopatrzenia się w oprogramowanie, które dokona konwersji ze specyficznego formatu OSM na jeden z typowych formatów oprogramowania GIS. Takimi możliwościami dysponuje między innymi program Quantum GIS (Bednarczyk, Rapiński, 2011). Interesującą propozycją w tym zakresie może być także skorzystanie z systemu zarządzania bazą danych przestrzennych SpatiaLite. SpatiaLite jest rozwijany przez Alessandra Furieriego, na podstawie innego, również jednoosobowego projektu – SQLite. SQLite jest biblioteką implementującą samowystarczalny, niewymagający środowiska serwerowego i zaawansowanej konfiguracji silnik transakcyjnej bazy danych, zarządzanej poprzez polecenia języka SQL. Z powodu operowania na pojedynczych plikach do pewnego stopnia można go porównać do Microsoft Access. Kod źródłowy SQLite jest udostępniany na zasadzie *public domain* (Michalak, 2007).

SpatiaLite rozszerza SQLite o możliwość przechowywania geometrycznych cech obiektów oraz wykonywania w oparciu o te obiekty zapytań z użyciem funkcji przestrzennych. W praktyce składa się z kilku programów, realizujących różne specyficzne zadania, uruchamianych z wiersza poleceń. Jednym z nich jest *spatialite_osm_map*. Dokonuje on wczytania pliku XML z danymi OpenStreetMap i zapisuje w osobnych tablicach obiekty charakteryzujące się przynależnością do poszczególnych grup (kategorii). W celu przeprowadzania analiz sieciowych szczególnie istotna będzie kategoria *highway*, reprezentująca drogi.

Oprócz sieci elementów liniowych, wzdłuż których poruszają się pociągi, do przeprowadzenia analizy obszaru obsługi niezbędne są lokalizacje centrów, którymi w tym przypadku będą przystanki. Ich lokalizacje można ustalić na podstawie materiałów udostępnianych przez przewoźników. Baza OpenStreetMap również dysponuje tego typu informacjami, lecz na potrzeby takiej analizy lokalizacja przystanków wydaje się zbyt szczegółowa i przynajmniej w niektórych przypadkach celowe będzie dokonanie generalizacji i zagregowanie kilku przystanków do jednego punktu. Punkty reprezentujące przystanki muszą posiadać atrybut, którego wartości będą określały opóźnienie startu analizy obszaru obsługi dla tej lokalizacji. Wartość takiego atrybutu składa się z dwóch elementów: czasu oczekiwania i czasu dojazdu do punktu docelowego. Pierwszą z tych wartości przyjmuje się (Transport for London, 2010) jako połowę czasu pomiędzy dwoma kolejnymi odjazdami, co można określić na podstawie rozkładu jazdy. Natomiast wartość drugą można wyznaczyć na dwa sposoby. Jednym z nich jest ponowne skorzystanie z rozkładów jazdy i odczytanie czasu przejazdu od danego przystanku do miejsca docelowego. Innym rozwiązaniem jest oszacowanie czasu przejazdu poprzez przeprowadzenie odpowiedniej analizy sieciowej. Może nią być albo wyznaczenie obszarów obsługi w odstępach jednonominutowych albo sporządzenie Macierzy Kosztów Początek-Cel pomiędzy miejscem docelowym a poszczególnymi przystankami. Do tego celu będą potrzebne kolejne dane – przebieg linii komunikacyjnych na analizowanym obszarze. Tutaj ponownie można się posłużyć informacjami od przewoźników. Doświadczenia z przeprowadzonych analiz opisanych w pracy (Cichociński, 2012) wskazują na konieczność zwrócenia uwagi w czasie przygotowywania takich danych na dwa zagadnienia. W pierwszej kolejności należy stwierdzić, że analiza dostępności nie może być przeprowadzana jednocześnie dla dwóch kierunków przemieszczania się: z miejsca docelowego i do miejsca docelowego. Bardziej zasadna wydaje się być analiza dojazdu z wielu przystanków do jednego punktu docelowego, gdyż tylko w takim przypadku znaczenie ma czas oczekiwania na przystanku, ponadto tylko wtedy można czas oczekiwania w analizie zróżnicować dla

poszczególnych linii komunikacyjnych, co nie byłoby możliwe dla jednego przystanku startowego. Dlatego w przypadku, gdy jakaś linia komunikacyjna przebiega w obu kierunkach chociaż częściowo różnymi odcinkami ulic, należy wybrać tylko odcinki właściwe dla ruchu w kierunku do miejsca docelowego. Ponadto, szczególnie w przypadkach, gdy linie krzyżują się i możliwy jest „dojazd” do pewnych punktów niezgodnie z rzeczywistym przebiegiem trasy, należy zadbać o zapewnienie w analizie możliwości „ruchu” tylko w jednym właściwym kierunku na poszczególnych odcinkach sieci. Najczęściej narzędzia analiz sieciowych oprogramowania GIS umożliwiają wykorzystanie odpowiedniego atrybutu określającego przejezdność poszczególnych elementów sieci. Należy zatem ustalić, aby odcinki ulic tworzące trasy pojazdów komunikacji miejskiej były przejezdne w kierunku do miejsca docelowego.

Przebieg analizy

Badania przeprowadzono na obszarze położonym w północnej części Krakowa. Jednym z ważniejszych punktów, do którego dojeżdżają mieszkańcy okolicznych dzielnic, jest Nowy Kleparz. Dociera tam kilka linii autobusowych i tramwajowych. Niedaleko stąd jest położone ściśle centrum miasta – Stare Miasto.

Pobrane ze strony internetowej OpenStreetMap dane obejmowały obiekty o geometrii liniowej takie jak: drogi, ścieżki rowerowe, ścieżki konne, ścieżki i chodniki dla pieszych oraz obiekty powierzchniowe (poligony): ronda, place (np. Rynek Główny, plac Szczepański), a w parkach – ronda w postaci rabatek z kwiatami. Z uwagi na badanie dostępności komunikacyjnej z wykorzystaniem środków masowego transportu zdecydowano się na wykluczenie ze zbioru danych ścieżek rowerowych i konnych. Natomiast elementy o geometrii poligonowej przekształcono na obiekty liniowe. Było to niezbędne, by w wielu miejscach zachować ciągłość danych liniowych. Jednakże taka zamiana poniosła za sobą konsekwencję w postaci wydłużenia trasy do pokonania, zarówno jeżeli rozpatrywany jest czas potrzebny do pokonania trasy, jak i jej długość. Na placach występujących w infrastrukturze drogowej zazwyczaj możliwy jest ruch pieszych na całej ich powierzchni, z wyłączeniem elementów stałych na placach (budynki, fontanny, cokoly pomników, rabaty z kwiatami itp.). Pieszy mając do pokonania na swojej trasie plac, w zdecydowanej większości przypadków wybierze opcję przejścia przez jego środek. W sytuacji, gdy plac z poligonu został przekształcony na obiekt liniowy, trasa dla pieszego może zostać wyznaczona tylko po obwodzie placu.

Dane wymagały ponadto sprawdzenia poprawności pod względem topologicznym. Dla prawidłowego działania analiz sieciowych należało wykluczyć sytuację nakładania i przecinania się obiektów liniowych. W wielu miejscach autorzy uzupełnili dane o ścieżki dla pieszych.

Przed rozpoczęciem analizy należało także ustalić dla punktów reprezentujących przystanki wartości atrybutu opisującego czas dotarcia z danego przystanku do miejsca docelowego. Żeby uniknąć konieczności wyliczania tych wartości na podstawie rozkładów jazdy, a następnie czasochłonnego, ręcznego ich wprowadzania do bazy, zdecydowano się posłużyć Macierzą Kosztów Początek-Cel.

Na podstawie rozkładów jazdy MPK oszacowano średnią prędkość pojazdów komunikacji miejskiej, która wynosi 18 km/h (5 m/s). Ze zbioru wszystkich obiektów liniowych wyodrębniono obiekty (ulice), po których poruszają się pojazdy komunikacji miejskiej z wyznaczonych przystanków do centrum. Dla tak przygotowanego zbioru zbudowano zestaw danych sieciowych, niezbędny do przeprowadzenia analizy w module Network Analyst programu ArcGIS.

Z wynikiem analizy macierzy kosztów można się zapoznać w postaci tabelarycznej lub w postaci graficznej (rys. 1) – wówczas są to linie proste łączące przystanki z punktem centralnym. W wynikowej tabeli zawarty jest czas dojazdu z wybranego przystanku do centrum. Następnym etapem było przypisanie niewyliczonych czasów dojazdu oraz czasu oczekiwania odpowiednio do każdego z przystanków.

Drugi zestaw danych sieciowych, jaki zbudowano, uwzględniał wszystkie obiekty liniowe. Oporem ruchu był czas potrzebny do przejścia przez pieszego wzdłuż każdego obiektu, obliczony zgodnie ze wzorem $t=d/V$, gdzie: t – czas [min], d – długość [m], V – prędkość [km/h]. Prędkość poruszania się pieszego przyjęto na poziomie 3,6 km/h. Przy definiowaniu założeń wykonania analizy obszaru obsługi przewidziano 6 stref dostępności czasowej, każda o szerokości 5 minut (0-10 min, 10-15 min, 15-20 min, 20-25 min, 25-30 min, powyżej 30 min), uwzględniono czas dojazdu z danego przystanku do centrum i średni czas oczekiwania na przystanku. Strefę 0-5 min włączono do strefy 0-10 min, z uwagi na fakt, że przypisane do przystanków wartości „opóźnionego startu” przewyższały 5 min. Dla lepszej wizualizacji wyniku wybrano wariant obszaru obsługi w postaci poligonów, z opcją agregacji poligonów według wartości progowej.

Wyniki analizy (rys. 3) wskazują na tereny, z których w wyznaczonym czasie można dotrzeć do centrum z wykorzystaniem środków komunikacji zbiorowej.

Wykonano również analizę dla danych OSM przed korektą elementów ścieżek dla pieszych. Różnicę w wynikach można zobaczyć na rysunku 2. Dodany element ścieżki został odznaczony na rysunku 2a przez pogrubienie.

Wnioski

Zaletą analiz wektorowych względem prowadzonych wcześniej analiz rastrowych (Cichociński, 2012) jest możliwość określenia dopuszczalnego kierunku ruchu. Natomiast wadą jest ograniczenie ruchu pieszego tylko do odcinków dróg i ulic oraz, jeżeli są dostępne takie dane, do ścieżek i chodników dla pieszych. Stawia to dodatkowe wymagania wobec danych, które mogą być kosztowne do spełnienia, a ze względu na swój charakter i zawartość niekoniecznie znajdują zastosowanie w innych analizach. Z drugiej strony utworzone w wyniku analizy obszary obsługi obejmują również teren pomiędzy elementami sieci (ulicami), jednak bez stwierdzenia, czy ruch pieszy rzeczywiście jest tam możliwy.

Szczegółowy przegląd wyników uzyskanych po przeprowadzeniu analiz pozwolił dostrzec zarówno pewne niedoskonałości sieci komunikacyjnej Krakowa, jak również pokazuje na jakie elementy należy zwrócić uwagę przygotowując dane. Obszarem, który chociaż położony jest relatywnie blisko centrum, to jednak charakteryzuje się słabą dostępnością komunikacją, jest osiedle Żabiniec pokazane na rysunku 2a.

W znanych autorom miejscach daje się również zauważyć wpływ niekompletności bazy danych OpenStreetMap. Na zaprezentowanych w pracy mapach można dostrzec pewne lokalizacje, które wydają się być trudno dostępne, lecz w rzeczywistości nie jest to prawdą (rys. 2b). Przyczyną przekłamania jest brak w bazie danych informacji o wszystkich ścieżkach, którymi odbywa się ruch pieszy. Jest to kolejne potwierdzenie znaczenia jakości danych dla wiarygodności wyników przeprowadzanych analiz przestrzennych.

Podsumowując można stwierdzić, że zaproponowane analizy na danych wektorowych spełniły dobrze swoją rolę, zwłaszcza że pozwoliły objąć w jednym modelu zarówno etap

dojścia do przystanku, jak również późniejszy dojazd środkami komunikacji masowej. Oczywiście wykonanie powyższych analiz nie byłoby możliwe bez posiadania odpowiednich danych. Wydaje się, że można w tym miejscu polecić stale rozwijającą się bazę OpenStreetMap, jako odpowiednie źródło danych, szczególnie dla analiz sieciowych.

Wyniki prowadzonych w opisanym zakresie analiz mogą być pomocne dla osób dokonujących wyboru miejsca zamieszkania, zarówno rozważających kupno nieruchomości, jak i wynajem. Zaproponowany algorytm działań może również pomóc w wykryciu miejsc ze słabym dostępem do sieci transportu zbiorowego.

Literatura

- Bednarczyk M., Rapiński J., 2011: Wykorzystanie oprogramowania open source w pomiarach bezpośrednich na przykładzie systemu Quantum GIS. *Roczniki Geomatyki* t. 9, z. 3: 25-35, PTIP, Warszawa.
- Bielecka E., Filipczak A., 2010: Zasady opracowywania map dostępności. *Roczniki Geomatyki* t. 8, z. 6: 29-38, PTIP, Warszawa.
- Cichociński P.: Modelowanie dostępności komunikacyjnej nieruchomości jako atrybutu niezbędnego w procesie wyceny. *Roczniki Geomatyki* t. 4, z. 3: 71-80, PTIP, Warszawa.
- Cichociński P. 2012: How to Calculate Real Estate Accessibility. Proceedings of FIG Working Week in Rome, Italy, 6-10 May 2012.
- Curtin K.M., 2007: Network Analysis in Geographic Information Science: Review, Assessment, and Projections. *Cartography and Geographic Information Science* Vol. 34, No. 2: 103-111.
- Dijkstra E. W. 1959: A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik* 1: 269-271.
- Esri, 2011: ArcGIS Desktop 10 Help.
- Guzik R., 2003: Przestrzenna dostępność szkolnictwa ponadpodstawowego. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków.
- Guzik R., 2011: Dostępność komunikacyjna wybranych miast Małopolski 2011-2020. Ekspertyza zrealizowana na zlecenie Departamentu Polityki Regionalnej Urzędu Marszałkowskiego Województwa Małopolskiego w ramach projektu systemowego „Małopolskie Obserwatorium Polityki Rozwoju” http://www.politykarozwoju.obserwatoria.malopolska.pl/Files.mvc/300/Dostepnosc_komunikacyjna_2011-2020_ver2x.pdf
- Haklay M., Weber P., 2008: OpenStreetMap: User-Generated Street Maps. *IEEE Pervasive Computing*, October-December: 12-18.
- Michalak J., 2007: Otwarte oprogramowanie i otwarte dane w geomatyce. *Roczniki Geomatyki* t. 5, z. 2: 11-20, PTIP, Warszawa.
- Ministerstwo Infrastruktury, 2011: Słownik pojęć transportowych SRT. Załącznik 3 do Strategii Rozwoju Transportu. <http://www.transport.gov.pl/files/0/1793934/Za03SRTSowniktransportowySRT.pdf>
- de Smith M.J., Goodchild M.F., Longley P.A., 2007: *Geospatial Analysis: A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools* (2nd ed.). Troubador Publishing.
- Transport for London, 2010: Transport assessment best practice, Guidance document. <http://www.tfl.gov.uk/assets/downloads/businessandpartners/transport-assessment-best-practice-guidance.pdf>

Abstract

The accessibility is a parameter determining the ease of access to a designated place, when moving one's own means of transportation or with the use of public transport.

This paper presents the algorithm that allows the accessibility determination of desired location. In this study the authors paid particular attention to accessibility for non-motorized people using public transport. Therefore, the analysis takes into account both the time to reach the bus stop, and the travel time of public transport vehicle. OpenStreetMap database is used as a data source for network analysis.

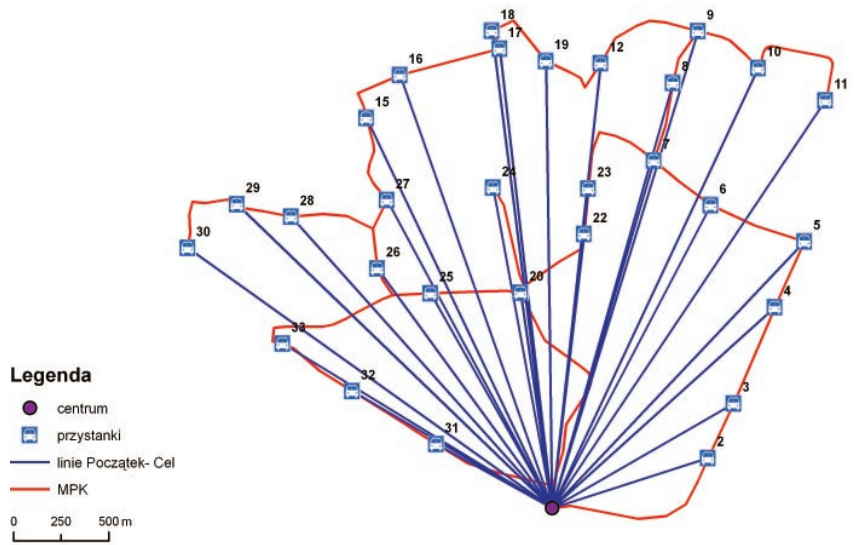
The work was conducted in two stages. In the first step, after appropriate preparation of data, the Origin-Destination Cost Matrix function was used to estimate travel time from individual stops to the

destination. Next, the service areas around the stops, indicating the ability to reach them in pedestrian traffic, were determined. The functionality of the tools was used, allowing the application of the initial value of resistance in the analysis, which permitted to take into account the waiting time at the bus stop and the time of the following journey.

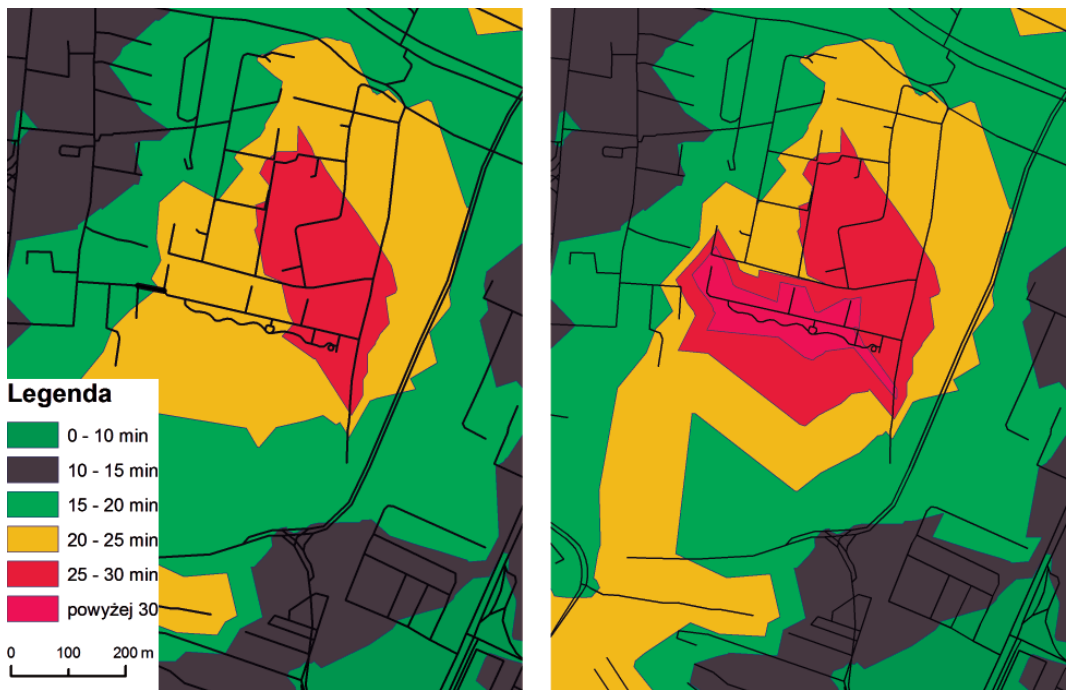
The analyses made it possible to identify areas with the best access to the city centre using public transport, and to identify those which, although located relatively close to the centre, are difficult to access. The results may be helpful for people choosing where to live, both considering buying real estate and rental. The analysis of this type may also help to identify shortcomings of public transportation networks.

dr inż. Piotr Cichociński
Piotr.Cichocinski@agh.edu.pl

dr inż. Ewa Dębińska
Ewa.Debinska@agh.edu.pl



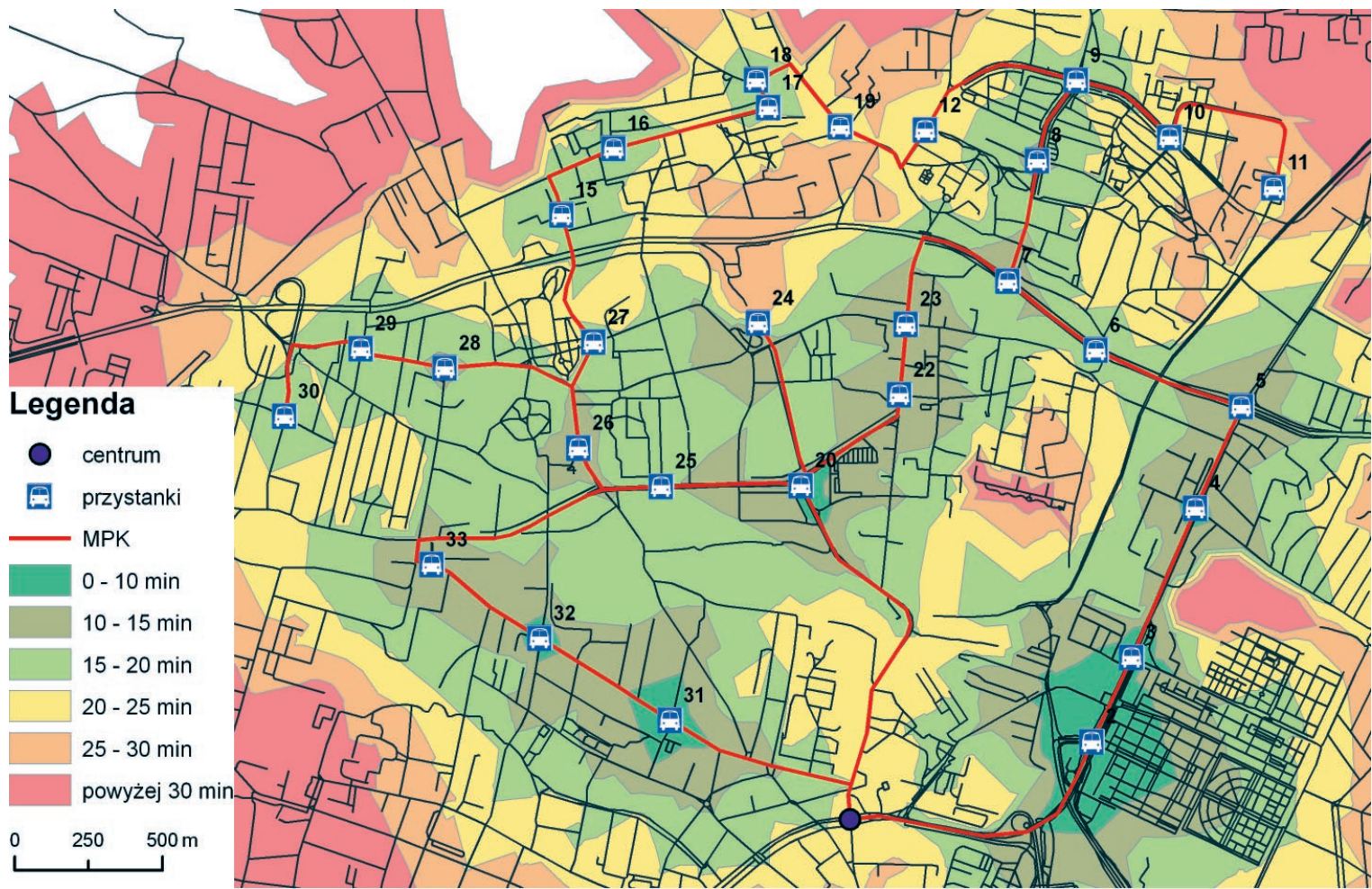
Rys. 1. Wynik graficzny analizy Macierzy Kosztów Początek-Cel



a

b

Rys. 2. Obliczona dostępność komunikacyjna osiedla Żabiniec: a – dla danych OSM po korekcie, b – dla niepoprawionych danych OSM



Rys. 3. Obszary obsługi dla wytypowanych przystanków