

## MACIEJ FLORCZAK

mgr inż., Zarząd Transportu Miejskiego w Warszawie,  
ul. Żelazna 61 00-848 Warszawa,  
tel. 22 459 43 06,  
e-mail: m.florczak@ztm.waw.pl

# GIS JAKO NARZĘDZIE BADANIA DOSTĘPNOŚCI PRZESTRZENNEJ TRANSPORTU ZBIOROWEGO<sup>1</sup>

**Streszczenie.** Artykuł ma na celu przybliżenie wybranych możliwości badania dostępności transportu zbiorowego. Spośród wielu jej aspektów skupiono się na badaniu dostępności przestrzennej przy wykorzystaniu zaawansowanych narzędzi Systemów Informacji Przestrzennej (GIS). Dynamiczny rozwój tych technologii w ostatnich latach sprawia, że podmioty odpowiedzialne za transport publiczny mogą łatwiej i szybciej pozyskiwać i przetwarzać informacje niezbędne w procesie zarządzania sieciami transportowymi. Co ważne, z roku na rok dostęp do danych przestrzennych staje się łatwiejszy, a wybór oprogramowania (w tym darmowego) coraz większy. Dodatkowo realizacja postanowień unijnej dyrektywy INSPIRE sprawi, że w przyszłości dane przestrzenne powinny stać się dobrem dostępnym dla wszystkich zainteresowanych podmiotów. W artykule zaprezentowano najczęściej spotykane w literaturze standardy dostępności przestrzennej przystanków komunikacyjnych oraz trzy najczęściej stosowane metody wyznaczania stref dojazdu do nich. Dzięki zastosowaniu GIS wyniki badań na terenie Dzielnicy Bemowo m.st. Warszawy połączono z danymi demograficznymi. Rezultaty analiz nie ograniczają się zatem do prezentacji kartograficznej, ale przede wszystkim umożliwiają precyzyjne określenie liczby budynków i mieszkańców znajdujących się w poszczególnych strefach dostępności. Celem artykułu było także porównanie dokładności i rozbieżności wyników pomiędzy każdą zastosowaną metodą. Okazały się one być na tyle znaczące, że mają bezpośredni wpływ na oceny dostępności transportu.

**Słowa kluczowe:** dostępność przestrzenna transportu, GIS, analizy sieciowe

## Dostępność transportu

Jednym z podstawowych czynników decydujących o potencjalnej atrakcyjności transportu zbiorowego jest jego dostępność. Można ją rozpatrywać na różnych płaszczyznach. Przykładowo dostępność techniczna uwarunkowana jest parametrami infrastruktury transportu, a dostępność ekonomiczna np.: ofertą handlową (ceny biletów, oferowane zniżki). Jednak najbardziej podstawowym aspektem wydaje się być dostępność przestrzenna sieci komunikacyjnej. W najprostszym jej rozumieniu chodzi o fizyczną odległość, którą musi pokonać pasażer między źródłem podróży (najczęściej jest to miejsce zamieszkania) a przystankiem komunikacyjnym oraz między ostatnim przystankiem a celem podróży (miejsce pracy, nauki, rozrywki). Przestrzeń ta najczęściej pokonywana jest pieszo, w przypadku dobrze rozbudowanego systemu komunikacyjnego, lub przy użyciu roweru i samochodu w przypadku obszarów pozbawionych dobrej dostępności do sieci transportu zbiorowego.

W łańcuchu podróży czas niezbędny na pokonanie przestrzeni poza układem transportowym wydaje się mieć zatem kluczowe znaczenie, a zagadnienie to znane jest pod pojęciem problemu „ostatniego kilometra”. Czas, który pasażer przeznacz na dojeżdżenie do i odejście z przystanków, może bowiem znacząco oddziaływać na całkowity czas podróży wykonywanej przy użyciu środków transportu zbiorowego, a wysiłek, który się z tym wiąże, może wpływać na decyzję, czy w ogóle warto skorzystać z komunikacji publicznej.

W przypadku miejskich systemów transportu zbiorowego dochodzi do ścierania się potrzeb użytkowników oraz organizatorów sieci. Z jednej strony pasażer chciałby, aby przystanek komunikacyjny był zlokalizowany jak najbliżej jego miejsca zamieszkania, tak żeby odległość i czas potrzebny na pokonanie drogi do niego były możliwie najmniejsze. Organizator zaś musi dążyć do zoptymalizowania całkowitego czasu przejazdu danej linii komunikacyjnej na całej trasie. Zwiększanie liczby przystanków z jednej strony spełnia oczekiwania pasażerów, a z drugiej obniża parametry eksploatacyjne (np.: prędkość handlowa) linii transportowej, co w rezultacie i tak wpływa na jakość oferty kierowanej do pasażerów.

Przeгляд literatury nie daje jednoznacznej odpowiedzi na pytanie, jak daleko (a w konsekwencji jak długo) pasażerowie są w stanie dochodzić do przystanków komunikacji zbiorowej z miejsca zamieszkania, tak aby wybór komunikacji publicznej wciąż był atrakcyjny. Zagadnienie to stanowi zatem trudność dla planistów nie tylko podczas projektowania nowych układów komunikacyjnych, ale też w czasie prób oceny już tych funkcjonujących. Należy przyjąć, że tzw. optymalna strefa dojazdu zawsze będzie wypadkową różnych, często lokalnych uwarunkowań. Zasadniczo najczęściej pojawiające się w różnych opracowaniach wartości to 300 i 400 metrów w przypadku przystanków komunikacji autobusowej oraz 800 metrów w przypadku komunikacji tramwajowej lub metra. Jest to jednak podział bardzo uproszczony. Wielu autorów [1, 2] zauważa bowiem, że pasażer jest w stanie poświęcić więcej czasu na dojeżdżenie do „szybkiego środka transportu”, takiego jak metro czy kolej regionalna, niż do tego „wolniejszego” (np. autobus). Dlatego też o ile tzw. szybki tramwaj może zachęcić potencjalnych pasażerów do pokonania większej odległości, o tyle atrakcyjność linii tramwaju bez wydzielonego torowiska będzie kształtować się na poziomie trójki

<sup>1</sup> © Transport Miejski i Regionalny, 2013.

autobusowej. Z drugiej zaś strony systemy szybkich autobusów (BRT, „metrobusy”) mogą oddziaływać na taki sam obszar, jak linie metra, przy zapewnieniu odpowiednio wysokiej częstotliwości oraz niezawodności kursowania i przyciągną pasażerów nawet z odleglejszych terenów.

Inni autorzy [3] zwracają także uwagę na fakt, że optymalna dostępność przystanków komunikacyjnych może być uzależniona od strefy funkcjonalnej miasta bądź cechy jego zagospodarowania przestrzennego np.:

- dla centrum – 300 m,
- dla zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej – 400 do 500 m,
- dla zabudowy jednorodzinnej – 600 do 1000 m.

Widać zatem, że powiązanie pożądanego strefy dojazdu z właściwościami (jakościowymi i ilościowymi) układu transportowego często ma niewiele wspólnego z kształtowaniem dostępności w oparciu o strukturę urbanistyczną jednostki osadniczej. Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego m.st. Warszawy [4] przewiduje, że odległość dojazdu pieszego do przystanków komunikacji zbiorowej nie powinna przekraczać:

- 300 m dla Strefy I (śródmiejskiej),
- 400 m dla Strefy II (miejskiej),
- 500 m dla Strefy III (przedmieście w granicach miasta).

Trudno zatem określić, jaka powinna być pożądana strefa dojazdu do stacji metra w centrum Warszawy, a jaka na Bemowie. Powstaje pytanie o czynnik, który powinien ją kształtować: rodzaj trakcji, typ zabudowy czy funkcja obszaru. Przykładowo Transport for London [5] zakłada zaś, że maksymalna, akceptowalna odległość dojazdu do przystanku autobusowego wynosi do 640 metrów, a w przypadku stacji metra do 960 metrów. Warto podkreślić, że atrakcyjność przystanku nie spada wprost proporcjonalnie do zwiększającej się od niego odległości, choć w praktyce niemal niemożliwe jest przyjęcie jednakowego i uniwersalnego współczynnika spadku atrakcyjności dla wszystkich trakcji, systemów komunikacyjnych czy miast. Na koniec można również dodać, że pokonanie najczęściej wskazywanych 300–400 m będzie łatwiejsze w lecie niż w zimie, uciążliwe dla osoby starszej, ale już nie dla nastolatka, a w końcu będzie bezpieczniejsze w dzień niż w nocy. Ostatecznie nie można także zakładać, że ktoś kto mieszka 395 metrów od przystanku z chęcią będzie do niego dochodził, a osoba, która mieszka 50 metrów dalej zrezygnuje z korzystania z transportu zbiorowego w ogóle [6]. Co ciekawe, gorący i wilgotny klimat Malezji warunkuje kształtowanie optymalnej dostępności przystanków transportu zbiorowego na poziomie nie przekraczającym 500 metrów [7].

## Rola systemów GIS

Systemy Informacji Przestrzennej (GIS – *Geographic Information Systems*) wydają się być najodpowiedniejszym narzędziem umożliwiającym uzyskanie informacji o dostępności układów transportu zbiorowego. GIS bowiem to nie „mapa w komputerze”, a przede wszystkim baza danych,

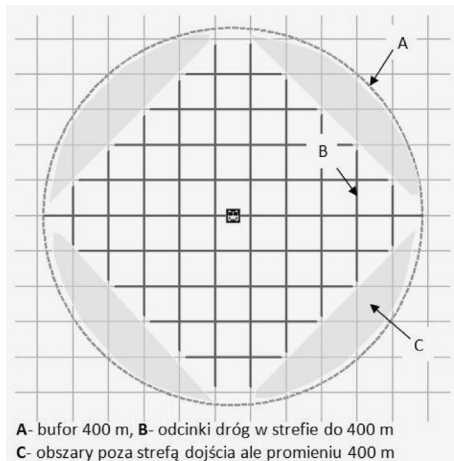
w której każdy jej element posiada określone położenie w przestrzeni geograficznej (baza danych przestrzennych). Możliwości GIS nie ograniczają się zatem do kartograficznej prezentacji danych, ale obejmują przede wszystkim możliwości przeprowadzania analiz przestrzennych w środowisku danych rastrowych, jak i wektorowych. W tym opracowaniu posłużono się danymi z różnych źródeł, które po odpowiednim przetworzeniu i przystosowaniu stanowią podstawę do przeprowadzenia analiz dostępności przystanków komunikacji zbiorowej na terenie dzielnicy Bemowo m.st. Warszawy. Baza danych składa się z następujących warstw tematycznych:

- sieci ruchu pieszego;
- zbioru wszystkich budynków mieszkalnych wraz z atrybutem określającym liczbę mieszkańców w każdym z nich;
- lokalizacji wszystkich przystanków komunikacji zbiorowej na terenie Bemowa.

## Metody badania dostępności transportu przy użyciu GIS

Jedną z najbardziej podstawowych analiz przeprowadzanych w narzędziach GIS jest funkcja wyznaczania buforu (ang. *buffer*). Ogranicza się ona do wykreślenia okręgu o wskazanym promieniu wokół obiektów (punktów, linii, obiektów poligonowych) wybranych przez użytkownika. Jest to jedna z najczęściej stosowanych metod określania obszarów oddziaływania przystanków komunikacji miejskiej. Tak wyznaczone okręgi służą często także do szacowania liczby ludności zamieszkującej w określonej w analizie strefie wokół przystanku. Do jej przeprowadzenia często nie jest potrzebne oprogramowanie GIS. Podobny wynik tj. mapę buforów (okręgów) wokół przystanków można osiągnąć przy zastosowaniu programów typowo graficznych, choć praktyka pokazuje, że to właśnie GIS ułatwia zarządzanie nawet tak prostym zbiorem danych. Analiza buforowa posiada jedną zasadniczą, ale i nieuniknioną z powodu jej prostoty wadę. Nie uwzględnia ona sieci drogowej, po której faktycznie może poruszać się pieszy dochodzący do przystanku. W sytuacji ekstremalnej może okazać się, że jakiś rejon, przykładowo położony 30 metrów w linii prostej od przystanku, nie ma fizycznego połączenia z nim. Przykładem niech będą tak popularne osiedla zamknięte, które w znacznym stopniu ograniczają dostępność ich mieszkańców do świata zewnętrznego (w tym systemu transportowego) kosztem wątpliwego zwiększenia poczucia bezpieczeństwa. Inny przykład to przeszkody naturalne lub sztuczne, które nie są uwzględniane w analizie buforowej. Mogą to być rzeki, jeziora czy linie kolejowe, których przekroczenie jest możliwe tylko w nielicznych miejscach (mosty, tunele), a czasem na znacznym odcinku nie jest to możliwe w ogóle. Zakładając nawet, że takich przeszkód nie ma, to i tak wytyczenie wokół jakiegoś punktu okręgu o promieniu 300 metrów nie wskaże równoważnej strefy dojazdu wzdłuż ciągów pieszych. Im mniej rozbudowana i mniej regularna sieć drogowa, tym większe prawdopodobieństwo, że punkt położony 300 metrów w linii prostej od przystanku znajduje się w rzeczywistości 400 metrów,

a może i dalej, licząc przejście po sieci drogowej. Nawet w przypadku gęstej (idealnej) sieci ulic opartej na siatce kwadratów (siatka „manhattańska” typowa dla miast amerykańskich) rzeczywista strefa dościa przybiera obrys kwadratu, a nie okręgu. Należy zatem uznać założenie, że bufor o promieniu 300 metrów równa się 300 metrów strefy dościa jest daleko idącym uproszczeniem (rysunek 1).



Rys. 1.  
Strefa dościa do przystanku w „idealnej” sieci drogowej  
Źródło: opracowanie własne

Metoda wyznaczania buforów jest także często spotykana przy przeprowadzaniu analiz potencjału czy też dostępności korytarzy transportowych (np. linii komunikacyjnych, linii kolejowych). W odróżnieniu od badania dostępności przystanków komunikacyjnych w tym przypadku strefa oddziaływania linii wyznaczana jest na całym jej przebiegu. Analizy takie mogą być pomocne przy wariantowaniu przebiegu linii i wyborze tego z największym potencjałem np. demograficznym. Jednak jest to jedynie podstawa do dalszych badań, gdyż o ostatecznej dostępności linii komunikacyjnych decyduje przede wszystkim lokalizacja przystanków.

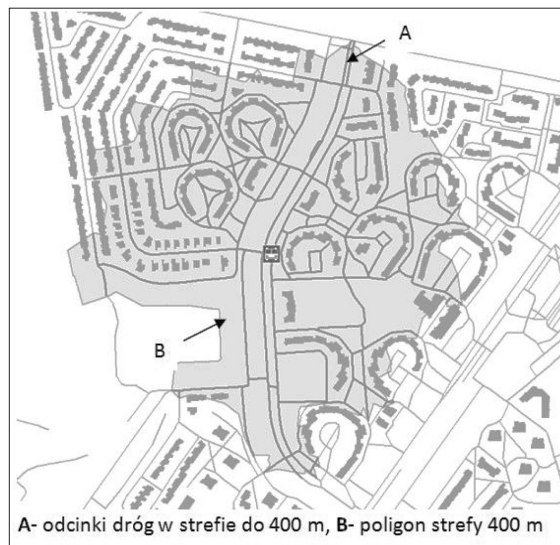
Wobec przedstawionej wcześniej niedoskonałości metody buforowej podejmowane są próby jej modyfikowania. Na podstawie doświadczeń niemieckich wyznaczono [8] współczynnik wydłużenia drogi (WWD) dla Poznania. Jest on ilorazem faktycznej odległości pomiędzy dwoma punktami (np. przystankiem a miejscem zamieszkania) i odległości między nimi w linii prostej. Dla różnych typów zabudowy, które charakteryzują się odmiennymi cechami układu drogowego, wynosi on od 1,18 do 1,29. Średnia przyjęta do analiz na poziomie całego miasta ukształtowała się na poziomie 1,26. Oznacza to, że w celu wyznaczenia strefy dościa pieszego od przystanku, wynoszącej przykładowo 400 metrów, należy wyznaczyć okrąg (bufor) o promieniu 317 metrów. Takie założenie może jednak zniekształcać wyniki, w przypadku gdy jakiś budynek faktycznie znajduje się w odległości ok. 400 metrów od przystanku, a dojsie do niego jest możliwe niemal w linii prostej (wzdłuż drogi).

Jednym z bardziej zaawansowanych narzędzi wykorzystywanych w oprogramowaniu GIS jest możliwość przeprowadzenia analiz sieciowych. Sieć jest zbiorem połączonych ze sobą elementów tj. krawędzi (linii) i węzłów (punktów), które reprezentują możliwe drogi podróży

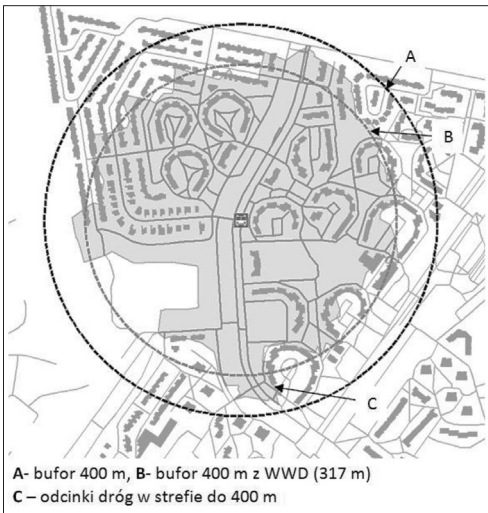
między dwoma miejscami. Analizy sieciowe oparte są na matematycznej teorii grafów i algorytmie Dijkstry, który wyznacza najkrótszą odległość między wskazanymi punktami. Odległość ta rozumiana jest jednak jako koszt pokonania danego elementu sieci. Każdy z nich posiada określony opór, którego wartość jest sumowana podczas poruszania się wzdłuż wyznaczonej drogi. Jako że GIS opiera się na danych o znanym położeniu przestrzennym, to najczęściej modelowanym w nim zjawisku o charakterze sieciowym jest sieć drogowa. Wykorzystując możliwości analiz sieciowych, można zatem każdemu elementowi sieci przypisać wartość oporu, którym w przypadku dróg jest najczęściej odległość lub czas jego pokonania. Dlatego analiza może wskazać nie tylko tę najkrótszą drogę między dwoma punktami, ale też najszybszą czy najtańszą. Wykorzystanie analiz sieciowych w badaniu dostępności transportu zbiorowego wydaje się zatem rzeczą naturalną.

Możliwość „odtworzenia” ciągów, po których poruszają się piesi, w formie bazy danych przestrzennych umożliwia przeprowadzanie bardzo dokładnych pomiarów dostępności. Bazując na materiałach kartograficznych (np. mapy topograficzne, ortofotomapy) czy pomiarach GPS (w terenie), można stworzyć model w bardzo dużym stopniu uwzględniający nawet najmniejsze, choć często istotne, elementy świata rzeczywistego. Przykładowo model skrzyżowania może uwzględniać położenie peronu przystankowego na środku jezdni, jego połączenie z przejściem dla pieszych i w konsekwencji z resztą sieci ruchu pieszego.

Jedną z kilku typów analiz sieciowych jest analiza obszaru obsługi (ang. *service area*). Wyznacza ona zasięg oddziaływania danego punktu, np. w strefie 400 m, w kartograficznej formie linii pokrywających odcinki sieci zapewniające dotarcie z/do punktu lub w formie, najczęściej nieregularnego, poligonu (wieloboku) wygenerowanego na ich podstawie (rysunek 2). W przeciwieństwie do analiz buforowych otrzymujemy bardzo zbliżony do rzeczywistego obraz dostępności danego punktu np. przystanku (rysunek 3).

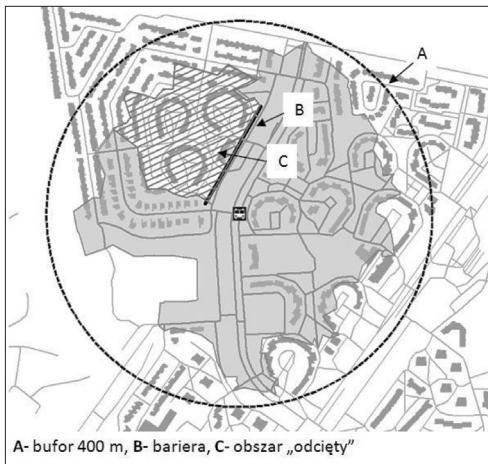


Rys. 2. Strefa dościa do przystanku wyznaczona przy użyciu analizy sieciowej  
Źródło: opracowanie własne



Rys. 3. Porównanie stref dojścia wyznaczonych różnymi metodami  
Źródło: opracowanie własne

Analizy sieciowe umożliwiają również badanie zmiany dostępności przestrzennej w przypadku dodania elementu do sieci takiego jak nowy odcinek drogi lub wręcz przeciwnie – w przypadku zamknięcia jakiegoś jej fragmentu. Zaletą zastosowania GIS jest fakt, że bariery uniemożliwiające pokonanie jakiegoś odcinka sieci można tworzyć bez ingerencji w jej dotychczasową geometrię. Pozwala to zatem na błyskawiczną symulację zmiany dostępności np. przystanku w takich przypadkach jak awarie (rysunek 4). Co ważne analizy sieciowe umożliwiają zbadanie także wpływu, jaki na dostępność przestrzenną mają nieformalne ścieżki, po których poruszają się piesi np.: nielegalne przejścia przez tory kolejowe czy nawet dziura w ogrodzeniu.



Rys. 4. Zastosowanie analizy sieciowej w badaniu zmiany dostępności przestrzennej  
Źródło: opracowanie własne

**Wyniki analiz**

Celem pierwszej przeprowadzonej analizy [9] było wyznaczenie odległości między każdym budynkiem mieszkalnym a jednym najbliższym przystankiem komunikacji zbiorowej. W tym celu oprogramowanie GIS (ArcGis 10) wyznacza macierz źródło–cel (ang. *OD Matrix*, rys.5.), która dodatkowo posiada uproszczoną reprezentację kartograficzną. W przypadku Bemowa średnia odległość dla wszystkich

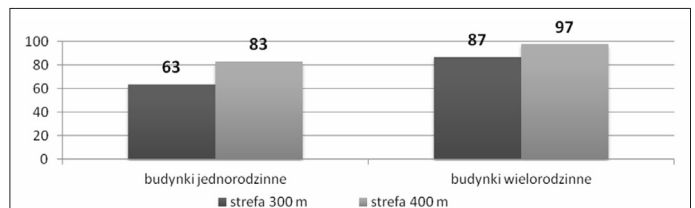
ObjectID	Shape	Name	OriginID	DestinationID	DestinationRank	Total Length
11847	Polyline	Location 3289 - Location 1	3289	241	1	342,462295
11848	Polyline	Location 3270 - Location 1	3270	241	1	342,446772
11659	Polyline	Location 3281 - Location 1	3281	241	1	639,013716
11660	Polyline	Location 3282 - Location 1	3282	241	1	468,641812
11661	Polyline	Location 3283 - Location 1	3283	241	1	541,450296
11662	Polyline	Location 3284 - Location 1	3284	241	1	435,111353
11713	Polyline	Location 3335 - Location 1	3335	241	1	584,044887
11714	Polyline	Location 3336 - Location 1	3336	241	1	399,427051
11715	Polyline	Location 3337 - Location 1	3337	241	1	410,635845
11716	Polyline	Location 3338 - Location 1	3338	241	1	444,591039
11717	Polyline	Location 3339 - Location 1	3339	241	1	441,121479
11718	Polyline	Location 3340 - Location 1	3340	241	1	432,810097
11719	Polyline	Location 3341 - Location 1	3341	241	1	409,039404
11720	Polyline	Location 3342 - Location 1	3342	241	1	378,872137
11721	Polyline	Location 3343 - Location 1	3343	241	1	470,967886

Rys. 4. Zastosowanie analizy sieciowej w badaniu zmiany dostępności przestrzennej  
Źródło: opracowanie własne

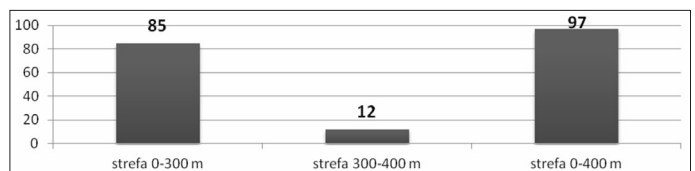
budynków wyniosła ok. 348 metrów, przy odchyleniu standardowym na poziomie 188 metrów. Oczywiście dokładniejsze prześledzenie wyników ukazuje, że wiele budynków położonych jest w znacznie dalszych odległościach od najbliższego przystanku – nawet powyżej 1 kilometra.

Kolejne analizy miały na celu wyznaczenie liczby budynków, a w rezultacie liczby osób zamieszkujących w poszczególnych strefach dojścia do przystanku przy zastosowaniu trzech różnych metod przedstawionych wcześniej. Przyjęto, że dostępność będzie określana dla strefy 300 i 400 metrów. Pierwsza wartość nawiązuje do najczęściej przywoływanej w analizach polskich jak i europejskich. Strefa 400 metrów oparta jest na SUIKZP m.st. Warszawy, które dla znacznej części Bemowa przewiduje właśnie taką strefę dostępności przystanków. Należy podkreślić, że w analizie wzięto pod uwagę każdy przystanek, bez rozróżnienia czy jest to przystanek autobusowy, czy tramwajowy, a budynek reprezentowany jest przez centroid obrysu jego murów. Wyniki analizy przy zastosowaniu prostych buforów ukazują bardzo optymistyczny stan rzeczy. Aż 87% budynków wielorodzinnych znajduje się w strefie do 300 metrów do najbliższego przystanku, a w przypadku strefy do 400 metrów jest to już około 97%. Dostęp do przystanków w przypadku zabudowy jednorodzinnej jest wyraźnie ograniczony i wynosi odpowiednio 63% i 83%.

Przekładając analizy na dane demograficzne, okazuje się, że 85% mieszkańców dzielnicy mieszka w strefie do 300 metrów do najbliższego przystanku, a 12% w strefie od 300 do 400 metrów. Oznacza to, że aż 97% mieszkańców Bemowa musi pokonać najwyżej 400 metrów, aby dostać się do przystanku komunikacji zbiorowej (rysunek 7).



Rys. 6. Procent budynków znajdujących się w poszczególnych strefach dojścia – metoda buforowa  
Źródło: opracowanie własne



Rys. 7. Procent mieszkańców znajdujących się w poszczególnych strefach dojścia – metoda buforowa  
Źródło: opracowanie własne

Urealnienie analizy buforowej może odbyć się m.in. przy zastosowaniu współczynnika wydłużenia drogi (WWD). W tej analizie przyjęto jego wartość na poziomie 1,26 (podobnie jak [8] dla Poznania), który odpowiednio zmniejsza zasięgi buforów 300 i 400 metrów. Uzyskane w ten sposób wyniki prezentują się odmiennie w stosunku do poprzedniej metody (rysunek 8). We wszystkich przypadkach dostępność spada i wynosi odpowiednio 74% i 88% dla budynków wielorodzinnych oraz 51% i 67% dla budynków jednorodzinnych.

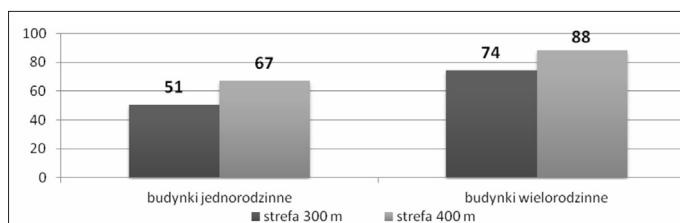
Konsekwencją jest również zmiana wyników dla danych demograficznych (rysunek 9), gdzie 71% mieszkańców znajduje się w strefie do 300 m, 16% w strefie od 300 do 400 metrów, a w końcu 87% w strefie do 400 metrów. Okazuje się zatem, że różnice w wynikach w porównaniu do metody prostego buforu sięgają nawet kilkunastu punktów procentowych i w przypadku strefy do 300 metrów są wyższe o blisko 20%, porównując metodę buforową do metody buforowej z WWD.

Zastosowanie analizy sieciowej, przy możliwie wiernym i szczegółowym odtworzeniu sieci ruchu pieszego, doprowadziło do uzyskania uszczegółowionych wartości. I tak dostępność dla budynków spada do 40% i 59% dla budynków jednorodzinnych oraz do 60% i 81% w przypadku budynków wielorodzinnych. Zestawienie wyników dla obu rodzajów zabudowy i każdej z trzech metod badania dostępności (rysunki 10 i 11) uwidacznia bardzo duże różnice, które przykładowo dla strefy do 400 metrów i budynków jednorodzinnych wynoszą aż 24 punkty procentowe w przypadku porównania analizy sieciowej i buforowej.

Jeśli chodzi o liczbę ludności, to zgodnie z wynikami analizy sieciowej strefa do 300 metrów obejmuje 57% mieszkańców Bemowa, strefa 300–400 metrów to 21%, a łącznie w strefie do 400 metrów znajduje się 78% mieszkańców. Porównanie danych demograficznych dla wszystkich metod przedstawia rysunek 12.

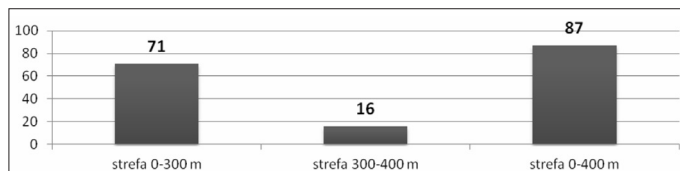
Wyraźnie widać zatem, że różnice pomiędzy wynikami dla najprostszej z metod tj. buforowej a wynikami dla analizy sieciowej są znaczne. Największe rozbieżności występują w przypadku strefy do 300 metrów i wynoszą aż 28 punktów procentowych. Oznacza to, że jeśli przyjmiemy jako podstawę analizę sieciową, to przeszacowanie wyników (dla danych demograficznych) w metodzie buforowej wynosi blisko 50% (tabela 1). W przypadku zastosowania WWD różnice są wyraźnie mniejsze, ale jednak wciąż znaczne. Mimo wszystko zakładając, że wyniki analizy sieciowej są najbliższe stanowi faktycznemu, to i tak blisko 80% mieszkańców Bemowa znajduje się w optymalnej, przewidzianej w SUiKZP, strefie dojścia.

Ze względu na dość rozbudowaną sieć tramwajową na terenie dzielnicy (ok. 11 km ulic z trakcją tramwajową) zbadano również dostępność przystanków tramwajowych (rysunek 13). Podstawowa strefa badania wyniosła 400 metrów, tj. zgodnie z SUiKZP. Dodatkowo postanowiono zbadać dostępność w strefie do 500 metrów. Należy uznać, że ze wzglę-



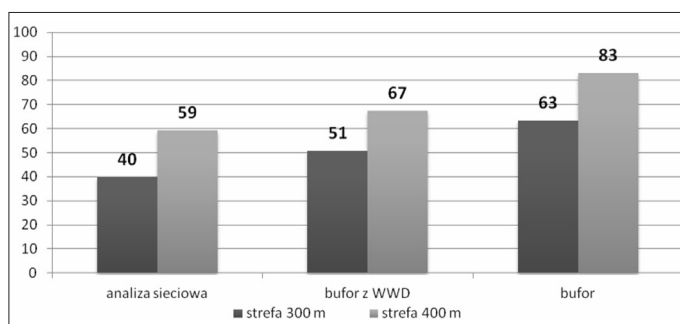
Rys. 8. Procent budynków znajdujących się w poszczególnych strefach dojścia – metoda buforowa z WWD

Źródło: opracowanie własne



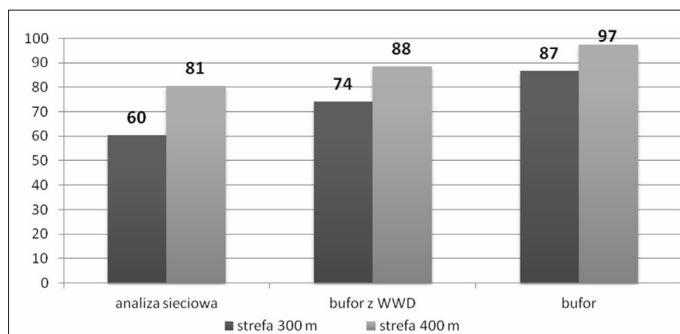
Rys. 9. Procent mieszkańców znajdujących się w poszczególnych strefach dojścia – metoda buforowa z WWD

Źródło: opracowanie własne



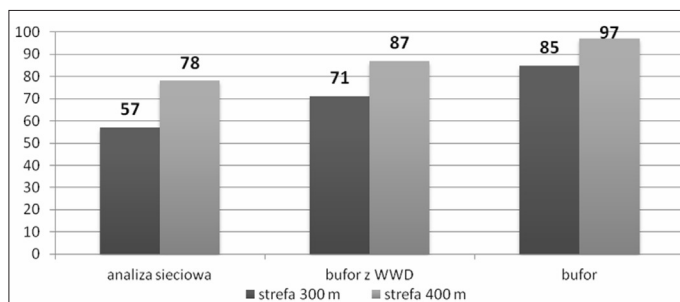
Rys. 10. Porównanie procentu budynków znajdujących się w poszczególnych strefach dojścia przy zastosowaniu trzech metod – budynki jednorodzinne

Źródło: opracowanie własne



Rys. 11. Porównanie procentu budynków znajdujących się w poszczególnych strefach dojścia przy zastosowaniu trzech metod – budynki wielorodzinne

Źródło: opracowanie własne



Rys. 12. Porównanie procentu mieszkańców znajdujących się w poszczególnych strefach dojścia przy zastosowaniu trzech metod

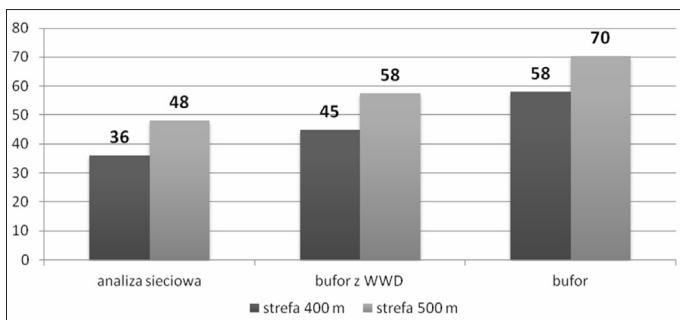
Źródło: opracowanie własne

Tabela 1

Procentowe różnice wyników dostępności transportu w porównaniu do analizy sieciowej			
analiza sieciowa	strefa do 300 m	strefa do 400 m	różnica w %
analiza buforowa z WWD	26	12	
analiza buforowa	50	24	

Źródło: opracowanie własne

du na fakt, iż większość linii tramwajowych w Warszawie posiada wydzielone torowiska, pasażerowie będą w stanie dojść do linii tramwajowej z dalszych rejonów. Niezależność od kongestii ruchu powinna być jednym z czynników takiej decyzji. Z drugiej jednak strony wydaje się, że przytaczana w innych opracowaniach strefa nawet do 800 metrów w polskich warunkach jest zbyt optymistyczna, zwłaszcza w kontekście wciąż zbyt małych priorytetów dla ruchu tramwajowego. Podobnie jak w przypadku badania dla każdego najbliższego przystanku, również wyniki ludnościowe dla sieci tramwajowej różnią się znacznie w zależności od przyjętej metody badania. O ile analiza buforowa prezentuje dostępność na poziomie 58% mieszkańców dla strefy 400 metrów i 70% dla strefy 500 metrów, o tyle analiza sieciowa weryfikuje je do odpowiednio tylko 36% i 48%.



Rys. 13. Porównanie procentu mieszkańców znajdujących się w poszczególnych strefach dojazdu do przystanków tramwajowych przy zastosowaniu trzech metod

Źródło: opracowanie własne

## Podsumowanie

Zastosowanie narzędzi GIS przedstawione w tym opracowaniu pozwoliło na porównanie trzech najczęściej stosowanych metod badania dostępności przystanków transportu zbiorowego. Wyniki analiz jasno wskazują, że w przypadku Bemowa prosta w przeprowadzeniu metoda buforowa nie może zapewnić wyników w pełni odzwierciedlających poziom dostępności przestrzennej transportu. Przedstawione rozbieżności między wynikami są bardzo wyraźne i okazuje się, że powszechne stosowanie metody buforowej może znacząco zniekształcać obraz dostępności przestrzennej transportu w polskich miastach. Należy jednak podkreślić, że wykazane różnice są charakterystyczne wyłącznie dla badanego obszaru i nie można ich bezkrytycznie przełożyć na badania dla innych terenów. Każdorazowo bowiem wpływ na osiągane rezultaty ma konkretna siatka ulic i specyficzna przestrzenna dystrybucja budynków. Przykładowo znacznie mniejsze różnice pojawiłyby się w analizach dla terenów z zabudową wyłącznie jednorodziną, gdzie można przyjąć średnią, jednakową liczbę miesz-

kańców każdego budynku. Natomiast w przypadku terenów o zabudowie mieszanej „siła demograficzna” jednego budynku może być zróżnicowana w zależności od tego, czy jest to dom jednorodzinny, czy np. dziesięciopiętrowy blok mieszkalny. Wskazano także, że zastosowanie analiz sieciowych pozwala uzyskać dane w największym stopniu odpowiadające stanowi faktycznemu. Jednakże dokładność wyników zależy od danych wejściowych użytych w analizie, a także od ustawień samej analizy (uwarunkowanych oprogramowaniem). Mimo zwiększonej szczegółowości przy zastosowaniu analizy sieciowej trzeba pamiętać, że GIS umożliwia budowę modelu, który z założenia jest w różnym stopniu uproszczonym obrazem otaczającej nas przestrzeni. Zastosowanie jednej z trzech wskazanych metod każdorazowo powinno być uzależnione od skali i przeznaczenia danego opracowania. O ile można uznać, że w skali regionu metoda buforów wydaje się być optymalną, zwłaszcza gdy efektem analizy jest wyłącznie prezentacja kartograficzna, o tyle w przypadku mniejszych jednostek, takich jak miasta czy dzielnice, może okazać się niewystarczająca, a jej wyniki mogą być mylące. Nie bez znaczenia pozostaje również fakt, że analizy buforowe wymagają znacznie mniejszej liczby danych i pracy w porównaniu do analiz sieciowych. Wybór pomiędzy potrzebą szybkiego uzyskania wyników a ich dokładnością wydaje się zatem kluczowy.

Należy podkreślić, że wiedza o dostępności przestrzennej transportu zbiorowego powinna być w posiadaniu wszystkich podmiotów odpowiedzialnych za jego organizację i zarządzanie. Co ważne, przeprowadzanie badań dostępności powinno odbywać się zarówno na etapie planowania układów transportowych, ich eksploatacji czy w końcu ich modernizacji. Zaprezentowane w tym artykule zastosowania GIS nie wyczerpują całego potencjału tego oprogramowania, do których zaliczyć można także m.in. możliwość budowy modeli multimodalnych sieci transportowych.

## Literatura

1. Vuchic V., *Urban Transit—Operations, planning and economics*, New Jersey, John Wiley & Sons, 2005.
2. Majewski B., Beim M., *Dostępność komunikacji publicznej w Poznaniu*, Biuletyn Geografii Społeczno-Ekonomicznej i Gospodarki Przestrzennej UAM w Poznaniu nr 3, s. 115–124, 2008.
3. Dźwiogóń W., *Efektywność poprawy dostępności przystanków*, „Transport Miejski i Regionalny” 2007, nr 6, s. 13–19.
4. *Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego m.st. Warszawy*, Warszawa 2006.
5. Transport for London, *Measuring Public Transport Accessibility Levels*, 2010, dostęp internetowy, styczeń 2013.
6. Walker J., *Human Transit*, Washington, Island Press 2012.
7. Mohd Din M., *The aspect of walking accessibility in the development of GIS-based transit system modeling in Kuala Lumpur*, dostęp internetowy, styczeń 2013.
8. Gadziński J., *Ocena dostępności komunikacji publicznej w Poznaniu*, Biuletyn Instytutu Geografii Społeczno-Ekonomicznej i Gospodarki Przestrzennej UAM w Poznaniu, 2010, nr 13.
9. Florczak M., *Wykorzystanie GIS w badaniu dostępności transportu publicznego na przykładzie Dzielnicy Bemowo m.st. Warszawy*, praca dyplomowa w ramach Studium Podyplomowego „Systemy Informacji Przestrzennej”, Politechnika Warszawska, 2013.