

Michał Brach, Maciej Florczak

Zastosowanie analiz sieciowych w badaniu dostępności transportu publicznego

Acta Scientiarum Polonorum. Administratio Locorum 10/2, 5-20

2011

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

ZASTOSOWANIE ANALIZ SIECIOWYCH W BADANIU DOSTĘPNOŚCI TRANSPORTU PUBLICZNEGO

Michał Brach¹, Maciej Florczak²

¹Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

²Zarząd Transportu Miejskiego w Warszawie

Streszczenie. Technologia GIS wykorzystywana jest z powodzeniem w zarządzaniu przestrzenią już od wielu lat. Fakt ten jest coraz lepiej dostrzegany przez gminy i lokalne samorządy w całej Polsce, czego doskonałym przykładem są liczne konferencje naukowe, szkolenia (Akademia INSPIERE) czy wreszcie konkretne przetargi na budowę systemów informacji przestrzennej. W opracowaniu zaprezentowano przykład wykorzystania wektorowej bazy dla gminy Wołomin i Kobyłka w celu optymalizacji sieci komunikacji transportu publicznego. W wielu mniejszych miastach znajdujących się w bliskim położeniu dużych miast wojewódzkich jest to ważki problem. Większa liczba miejsc pracy w dzisiejszych czasach dostępna jest bowiem głównie w dużych aglomeracjach, co w sposób naturalny wymusza na gminach organizację nowych połączeń komunikacyjnych. Pozwala to nie tylko ograniczyć migrację, jak również zmniejszyć obciążenie dróg ruchem samochodowym. Inwestowanie w komunikację jest nadzwyczaj opłacalne dla samorządów. Warto więc zastanowić się jak poprawnie skonstruować sieć komunikacyjną z wykorzystaniem technologii GIS.

Słowa kluczowe: systemy informacji przestrzennej, GIS, analizy sieciowe, komunikacja, gospodarka przestrzenna

ZAPOTRZEBOWANIE NA ANALIZY SIECIOWE

Od kilku dziesięcioleci na całym świecie można obserwować gwałtowny wzrost poziomu motoryzacji indywidualnej. W Polsce, szczególnie po roku 1989 r., samochody stały się symbolem wysokiego poziomu życia i alternatywą dla komunikacji zbiorowej podczas codziennych dojazdów do pracy. Jednak wraz z niezwykle szybko zwiększającą się liczbą samochodów nie przybywało nowych dróg, mostów czy obwodnic.

Problem przeciążenia układu drogowego szczególnie widoczny jest w aglomeracji warszawskiej. Codziennie dziesiątki tysięcy samochodów skutecznie pogarszają płynność

ruchu w centrum Warszawy w godzinach szczytu. Jednocześnie postępujący proces suburbanizacji spowodował znaczne zwiększenie liczby ludności na obrzeżach miasta i w miejscowościach podwarszawskich. Z powodu słabego rozwinięcia komunikacji publicznej w rejonach podmiejskich fala tysięcy dodatkowych samochodów każdego dnia zaczęła zalewać drogi wjazdowe do Warszawy, a potem w samym Śródmieściu. Pogłębiająca się kongestia ruchu stała się przyczyną szybkiego pogorszenia standardów podróżowania także w komunikacji miejskiej. Uzależnione od warunków drogowych autobusy, wciąż stanowiące jeden z podstawowych elementów układu komunikacyjnego, przestały spełniać rolę szybkiego transportu zbiorowego. Brakowało także inwestycji w nowy tabor tramwajowy czy kolejowy.

Ostatnie kilka lat przynosi odrodzenie komunikacji publicznej, która coraz częściej kojarzy się z nowoczesnością i wysoką jakością usług. Transport zbiorowy uzyskuje coraz więcej priorytetów w postaci np.: wydzielonych pasów dla autobusów i tramwajów (trasa W-Z). Jednocześnie następuje integracja transportu zbiorowego na terenie całej aglomeracji warszawskiej. Dziś w skład komunikacji miejskiej na tym obszarze wchodzi autobusy, tramwaje, metro i kolej, którymi wspólnie można podróżować na podstawie Warszawskiej Karty Miejskiej.

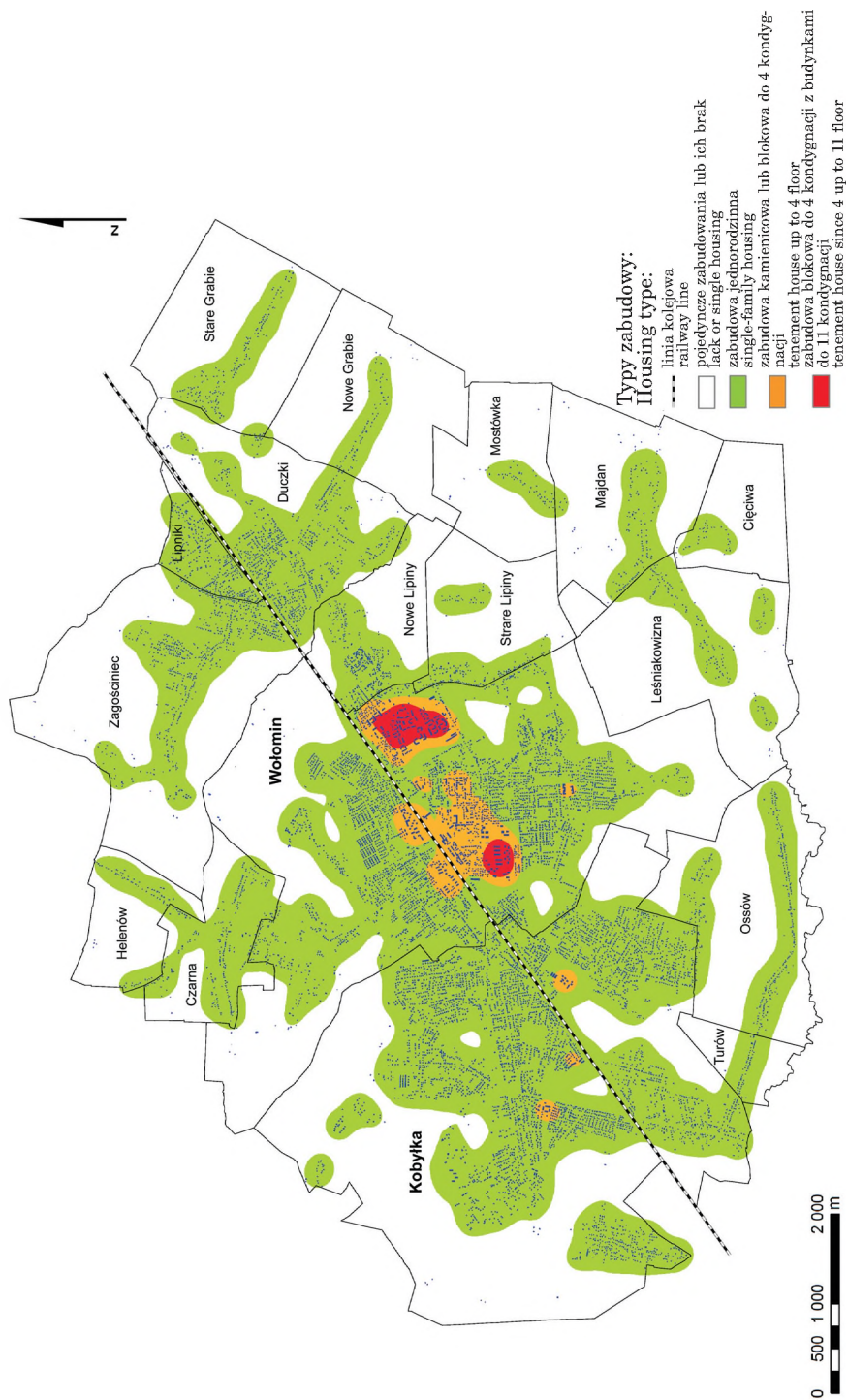
Rozpoczęty proces integracji oparty na współpracy Warszawy i gmin ościennych jest pierwszym krokiem do budowy zupełnie nowej jakości systemu transportu zbiorowego. Rozbudowana sieć kolejowa na terenie aglomeracji stanowi realną alternatywę dla samochodów prywatnych.

Gminy Wołomin i Kobylka, położone wzdłuż linii kolejowej i wchodzące w skład aglomeracji warszawskiej, także mają predyspozycje do budowy zintegrowanego systemu komunikacyjnego opartego na transporcie szynowym i liniach autobusowych dowożących mieszkańców do stacji kolejowych. Do tej pory nie prowadzono szczegółowych badań dotyczących transportu publicznego na tym obszarze. Nowe narzędzia badań, takie jak systemy informacji przestrzennej (GIS), umożliwiają ich wykonanie za pomocą m.in. analiz sieciowych.

STAN ISTNIEJĄCY SIECI KOMUNIKACYJNEJ W GMINACH WOŁOMIN I KOBYLKA

Gminy Wołomin i Kobylka oddalone są o 15–20 km od centrum Warszawy. Przez ich teren, na odcinku 8 km, biegnie linia kolejowa nr 6, którą dotrzeć można do dworca Warszawa Wileńska lub dworca Warszawa Śródmieście. Na omawianym terenie znajduje się jedna stacja kolejowa – Wołomin i cztery przystanki osobowe: Kobylka Ossów, Kobylka, Wołomin Słoneczna oraz Zagościniec – rysunek 1. W sumie obszar tych dwóch gmin, wynoszący ponad 82 km², zamieszkuje blisko 70 tys. osób. Obie gminy są częścią aglomeracji warszawskiej, co sprawia, że znaczna część ludności dojeżdża do pracy i szkół zlokalizowanych w Warszawie.

Podstawą do przeprowadzenia analiz była budowa bazy danych obejmująca sieć drogową (495 km) oraz budynki mieszkalne w liczbie ponad 13 000, wraz z określeniem lic-



Rys. 1. Mapa gęstości zabudowy mieszkaniowej

Fig. 1. Map of housing density

by mieszkań w każdym z nich, a w późniejszym etapie wyznaczenie przebiegu linii autobusowych i lokalizacji przystanków komunikacji publicznej.

Wykorzystując funkcję obliczania gęstości występowania danego zjawiska, stworzono mapę gęstości występowania zasobów mieszkaniowych (rys. 1). Wyniki zestawiono w cztery klasy, które uwydatniają rodzaj zabudowy na danym obszarze. Większość terenów zajmuje ekstensywna zabudowa jednorodzinna. Taka zabudowa występuje również na północnych i południowych terenach Wołomina, jedynie w centralnej części miasta wyróżniają się osiedla bloków wielorodzinnych. Samo centrum Wołomina zabudowane jest w większości przedwojennymi dwu- i trzypiętrowymi kamienicami.

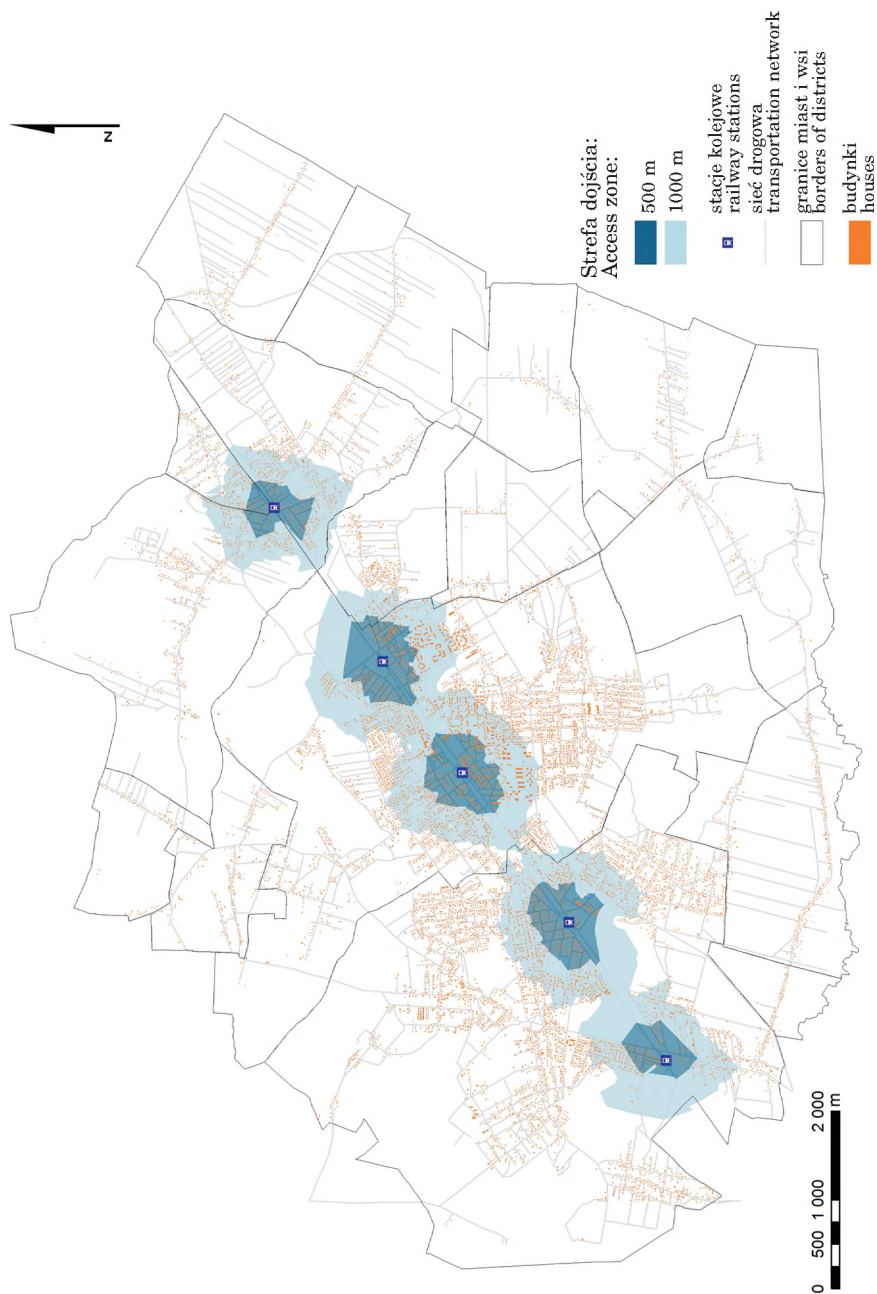
ANALIZY DOSTĘPNOŚCI KOMUNIKACYJNEJ

W ramach tego opracowania przeprowadzono analizę stref dojścia do stacji kolejowych w odległościach 500 oraz 1000 m oraz analizę czasu dojścia do stacji z założoną prędkością ruchu pieszego wynoszącą 4,2 km/h. Na tej podstawie wyznaczono izochrony dla czasu dojścia wynoszącego 5, 10 i 15 minut. Założone strefy dojścia są wypadkową różnych wartości, które można znaleźć w literaturze przedmiotu [Czarnecki 1970, Dźwigoń 2007, Majewski i Beim 2008]. Optymalne strefy dojścia uzależnione są m.in. od charakteru zabudowy czy rodzaju środka transportu (rys. 2, rys. 3). W modelu uproszczono rzeczywisty podział na część drogi przeznaczoną dla ruchu pieszego (chodniki) i samochodowego (jezdnie). Przyjęto, że pieszy może poruszać się wzdłuż każdej wektoryzowanej drogi.

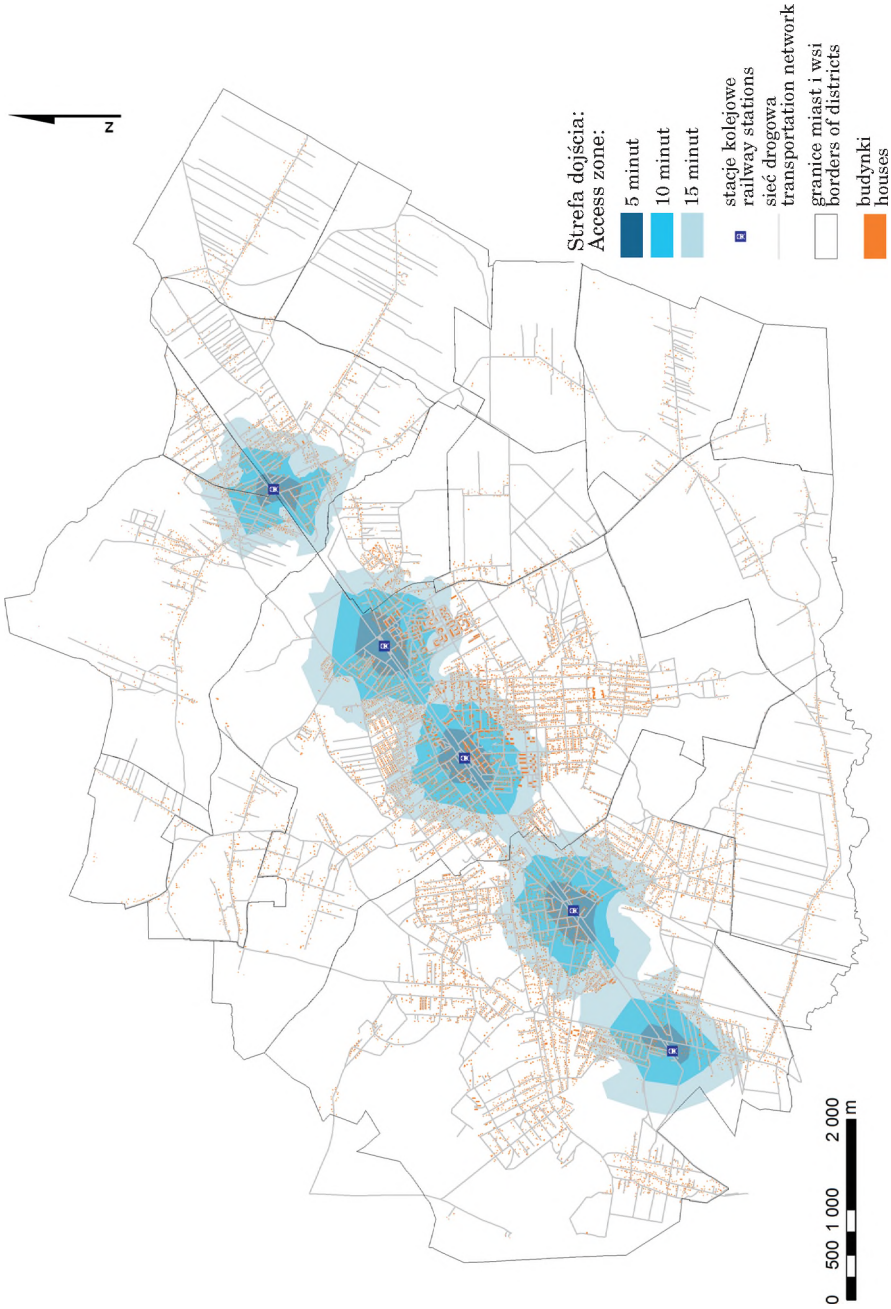
Wyniki analizy stref dojścia do stacji kolejowych przedstawia rysunek 4. Prezentuje on jaki procent mieszkańców poszczególnych jednostek administracyjnych mieszka w różnych strefach dojścia do najbliższej stacji kolejowej. Wyniki są bardzo zróżnicowane dla poszczególnych obszarów. Na przykład ponad 22% mieszkańców Wołomina mieszka w strefie dojścia do 500 m, podczas gdy w przypadku obszarów wiejskich gminy Wołomin jest to tylko 6,5%.

Wyniki analizy stref czasu dojścia do stacji kolejowych z założoną prędkością ruchu pieszego 4,2 km/h przedstawiono na rysunku 5. Podobnie jak w poprzedniej analizie występuje duże zróżnicowanie wyników dla poszczególnych jednostek. W strefie dojścia do 5 minut znajduje się ponad 11% mieszkańców Wołomina. W Kobyłce to już tylko około 5%, a w przypadku terenów wiejskich gminy Wołomin – ponad 2,6%. Wyniki dla strefy dojścia 15 minut wyraźnie pokazują, że mieszkańcy Wołomina mają najlepszy dostęp do stacji kolejowych. Wskaźnik dostępności wynosi zatem dla Wołomina ponad 72%, dla Kobyłki – 41%, a dla terenów wiejskich – ponad 27%.

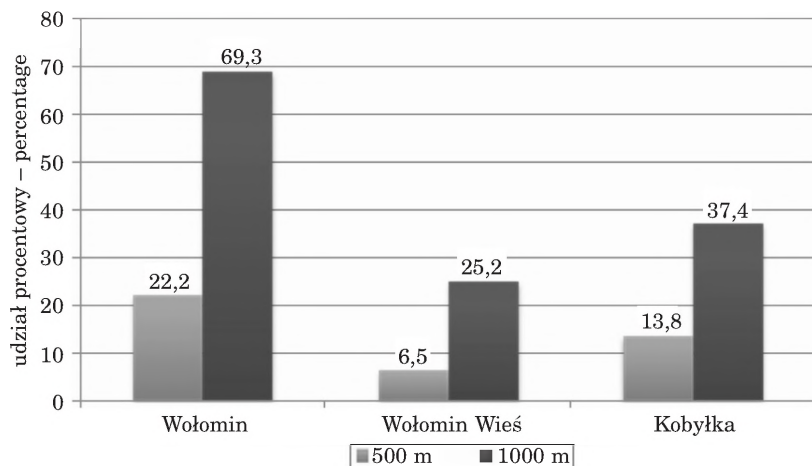
Teren gmin Wołomin i Kobyłka nie jest obecnie obsługiwany dzienną autobusową komunikacją publiczną, mimo że obie gminy podpisały porozumienie z Zarządem Transportu Miejskiego w Warszawie w sprawie organizowania komunikacji miejskiej. Porozumienie obejmuje honorowanie biletów ZTM w pociągach Kolei Mazowieckich oraz funkcjonowanie linii nocnej N62 kursującej na trasie Dworzec Centralny – Wołomin Osiedle Niepodległości. Istnieje za to dość dobrze rozbudowana sieć autobusowych połączeń prywatnych. Są to linie A,W, Z oraz S i J łączące Wołomin i Kobyłkę z centrum Warszawy.



Rys. 2. Mapa dostępności do stacji kolejowych z uwzględnieniem odległości
Fig. 2. Map of availability to railway stations based on distance

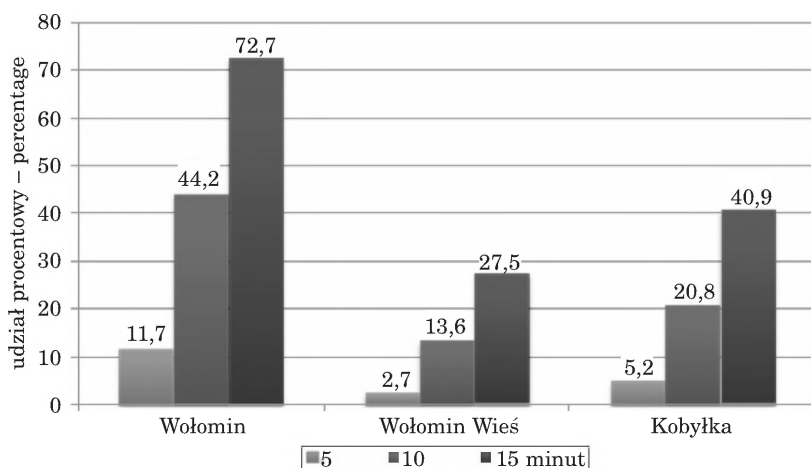


Rys. 3. Mapa dostępności do stacji kolejowych z uwzględnieniem czasu dojazdu
Fig. 3. Map of availability to railway stations based on access time



Rys. 4. Wykres dostępności stacji kolejowych – stan obecny

Fig. 4. Availability to railway stations (current status)



Rys. 5. Dostępność czasowa stacji kolejowych dla prędkości pieszego 4,2 km/h – stan obecny

Fig. 5. Time availability to railway stations taking into account pedestrian speed 4.2 kilometers per hour (current status)

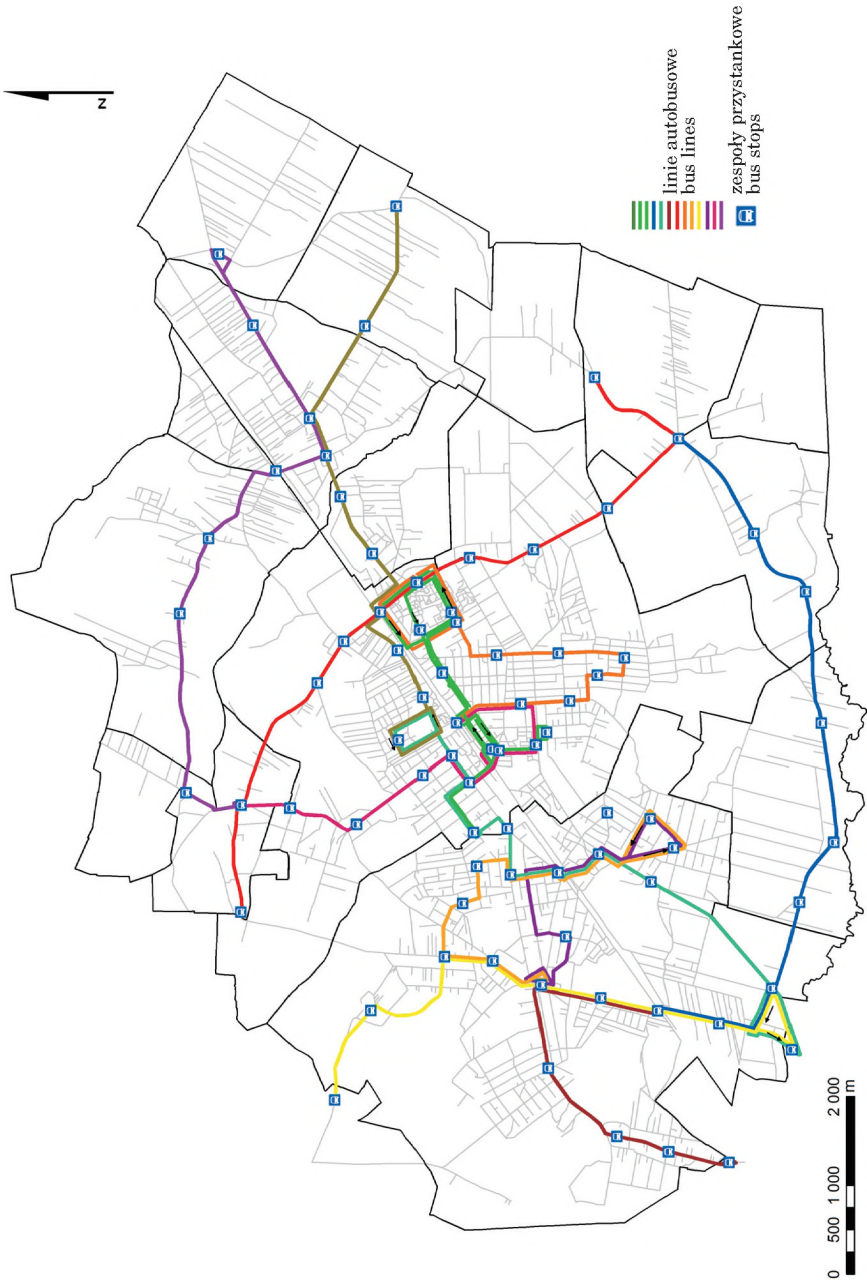
PRZEBIEG PROJEKTOWANYCH LINII AUTOBUSOWYCH

Podstawowym celem projektowanej sieci autobusowej jest umożliwienie jak najszybszego dojazdu do istniejących stacji kolejowych. Kolej umożliwia dalszą podróż w kierunku centrum Warszawy. Zwiększanie dostępności transportu kolejowego i integracja komunikacji publicznej w aglomeracji warszawskiej jest jednym z celów głównych polityki transportowej Warszawy. Taki cel został wyrażony w Strategii Zrównoważonego Rozwoju Systemu Transportowego Warszawy na lata 2007–2015 [Uchwała Rady... 2009]. Jednym ze sposobów takich działań ma być m.in. dostosowywanie innych systemów komunikacji publicznej (np. sieci autobusowej) do obsługi korytarzy kolejowych. Na potrzeby tego opracowania przyjęto zasadę, iż dojazd do kolei powinien być możliwy z każdego miejsca bez potrzeby przesiadek między liniami. Jednocześnie projektowane linie powinny obsługiwać także ruch pomiędzy poszczególnymi obszarami gmin Wołomin i Kobylka, umożliwiając dojazd do większych zakładów pracy, urzędów i szpitala. Pod uwagę wzięto także rozmieszczenie ludności, związane z kilkoma głównymi osiedlami mieszkaniowymi. Podczas marszrutyzacji (planowania tras) dążono do maksymalnego uproszczenia przebiegu tras na terenie gmin, co korzystnie wpływa na czas przejazdu linii oraz na ogólny czas dotarcia do stacji kolejowych. Zarówno w Wołominie, jak i Kobylce powstały dwa ważne punkty przesiadkowe, w których krzyżują się trasy kilku linii. Utworzono 13 linii autobusowych, których część ma wspólne krańce lub pętle, co sprawia, iż wskazany podział na 13 linii można zmienić, tworząc linie o dłuższych relacjach. Schemat utworzonych tras przedstawia rysunek 6. Podczas projektowania przebiegu linii uwzględniono istniejące możliwości infrastruktury technicznej, stan dróg oraz istniejące pętle autobusowe.

BUDOWA MODELU SIECI KOMUNIKACYJNEJ

Pojedynczą trasę autobusową zwektoryzowano jako dwie jednokierunkowe linie po obu stronach osi drogi. W ten sposób możliwe było zamodelowanie sytuacji, w której autobus ma jednokierunkowy przejazd na pewnym odcinku trasy. Jednocześnie umożliwia to poprawną lokalizację przystanków po obu stronach jezdni. Utworzony w ten sposób model linii autobusowych można było połączyć z istniejącą siecią drogową, na której prowadzony jest ruch pieszy. W tym celu połączono sieć drogową z siecią autobusową, umożliwiając przejście tylko w wybranych punktach (przystankach). Jako że w przeprowadzonych analizach zaistniała potrzeba określenia czasu oczekiwania pasażera na przystanku na autobus, sieć drogową połączono z przystankami dodatkową linią. Dodano także parametr określający czas przejścia wzdłuż sieci drogowej, który jest jednak niezależny od jej długości. Założono, że pasażer przyjdzie na przystanek 3 minuty przed przyjazdem autobusu. Dlatego też w kierunku „do” przystanku linii została przypisana żądana wartość, tj. 3 minuty, a w kierunku „z” wartość 0.

Podstawową cechą linii autobusowej jest prędkość, z którą porusza się po niej autobus. Do przeprowadzenia analiz postanowiono przypisać trasom autobusów prędkość komunikacyjną. Do jej wyznaczenia niezbędna jest znajomość czasu przejazdu (T) jednego



Rys. 6. Schemat zaprojektowanych linii autobusowych
Fig. 6. Scheme of bus network

kursu oraz jego długości. Dźwigoń [2007] proponuje następujące wzór umożliwiający określenie czasu przejazdu:

$$T = 1,2 L + 0,73 p + 0,5 s \text{ [min]}$$

gdzie:

L – długość odcinka [km]

p – liczba przystanków

s – liczba skrzyżowań.

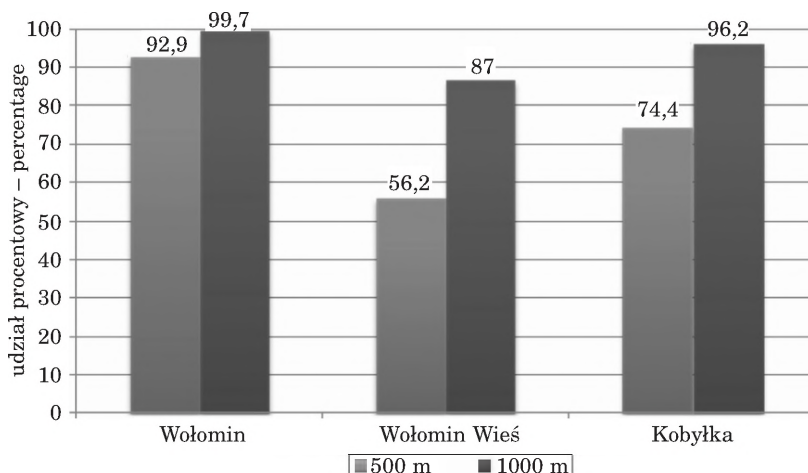
W równaniu tym pomnożenie długości trasy przez współczynnik 1,2 umożliwia obliczenie czasu przejazdu tego odcinka z prędkością 50 km/h. Następnie czas ten jest powiększany o czas postoju na przystankach i czas tracony na skrzyżowaniach. W tym opracowaniu przedstawiony wzór uproszczono i przyjęto, że prędkość poruszania się autobusu łącznie z postojem na skrzyżowaniach wynosi 40 km/h. W ten sposób do obliczenia prędkości komunikacyjnej trasy wystarczy znajomość tylko liczby przystanków na trasie. Na tej podstawie wyznaczono prędkości komunikacyjne dla każdej z linii. Różnice między najmniejszą a największą prędkością komunikacyjną wynoszą blisko 5 km/h. Średnia prędkość dla wszystkich linii wynosi 25,51 km/h. Dane te są zgodne z zakresem średnich prędkości komunikacyjnych autobusów linii strefowych obsługiwanych przez Zarząd Transportu Miejskiego w Warszawie [Zarząd Transportu... 2011].

OCENA ZAPROJEKTOWANEJ SIECI KOMUNIKACYJNEJ

Dostępność przestrzenna

Analizie poddano następujące strefy dojazdu: 500 i 1000 m. Strefa do 500 metrów była pożądaną wartością podczas projektowania lokalizacji przystanków. Na rysunku 7 zaprezentowano zestawienie wyników analiz dla wszystkich jednostek.

W strefie dojazdu do 500 m najwyższa dostępność projektowanej sieci autobusowej występuje w Wołominie i wynosi blisko 93%. W Kobyłce jest ponad 74%, a na obszarach wiejskich tylko 56%. W strefie do 1000 m, w przypadku Wołomina dostępność wynosi prawie 100%, w Kobyłce – 96%, a na obszarach wiejskich – 87%. Dane zestawione dla trzech jednostek pokazują dość dużą dysproporcję w możliwej do osiągnięcia dostępności transportu autobusowego. Taki stan rzeczy spowodowany jest m.in. zróżnicowanym charakterem zabudowy i koncentracją ludności w każdej z jednostek. W Wołominie większość populacji zamieszkuje osiedla bloków wielorodzinnych położonych na stosunkowo niewielkim obszarze. Jedna linia może więc jednorazowo znajdować się w dogodnym przebiegu dla większej liczby potencjalnych pasażerów. Istotną przeszkodą w planowaniu obsługi komunikacyjnej jest rozproszona i obejmująca duży obszar zabudowa obszarów wiejskich. W przypadku Kobyłki również występuje problem rozproszonej zabudowy, a dodatkowym negatywnym czynnikiem są braki w infrastrukturze drogowej. Graficzne przedstawienie analiz zaprezentowano na rysunku 8. Wyraźnie widać, że większość obszarów zurbanizowanych Wołomina i Kobyłki leży w najatrakcyjniejszej



Rys. 7. Wykres dostępności projektowanych przystanków autobusowych

Fig. 7. Availability to bus stops

strefie dojścia do 500 metrów. Dla największej, wynoszącej 1000 m strefy, tylko niewielkie fragmenty terenów zurbanizowanych leżą poza obszarem analizy. Są to przede wszystkim mało dostępne części obszarów wiejskich.

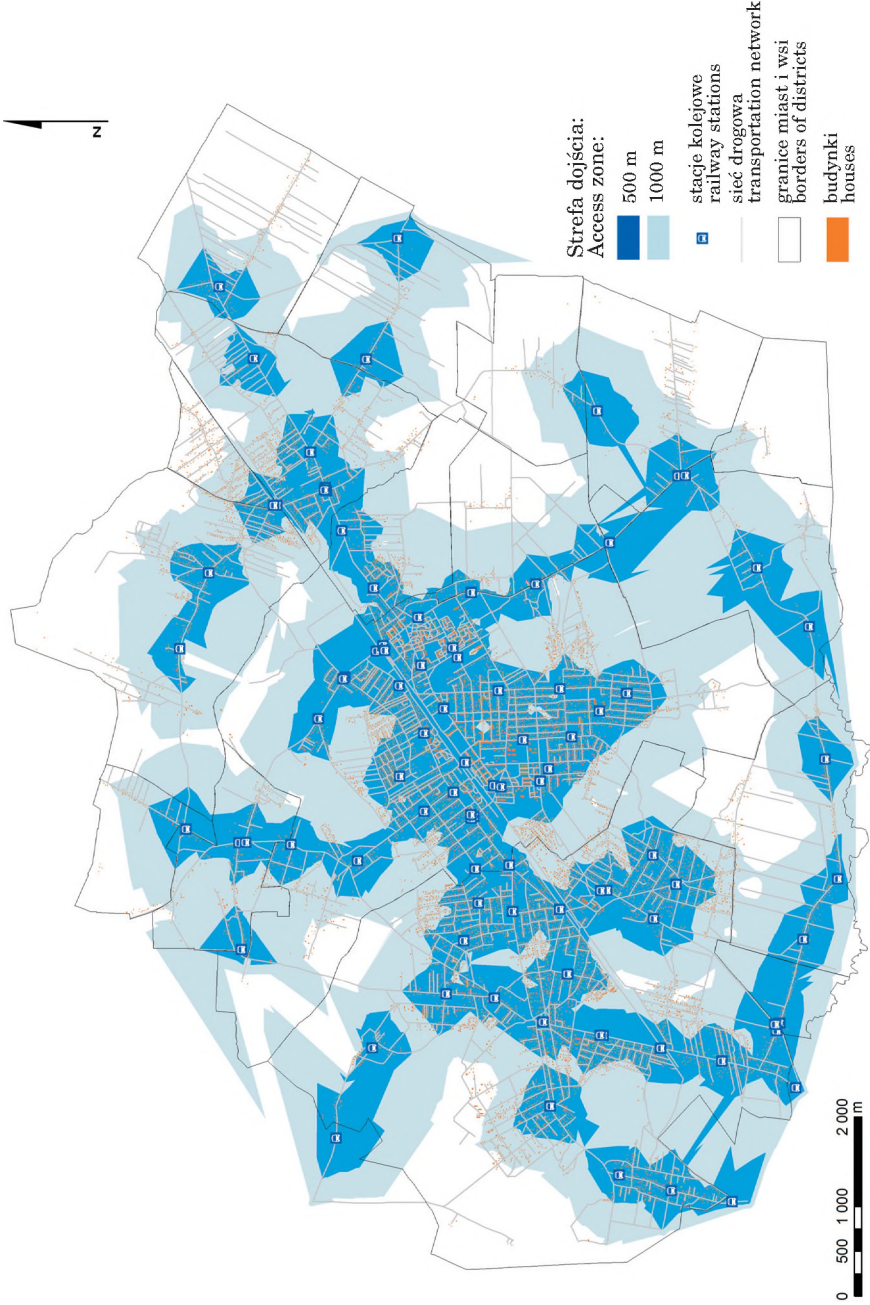
Dostępność czasowa

Na rysunku 9 przedstawiono wyniki analizy stref czasu dojazdu do stacji kolejowych. Wyznaczono izochrony 10, 15 i 20 minut dojazdu do stacji kolejowych. Czas dojazdu jest łącznym czasem dojścia do przystanku autobusowego z prędkością 4,2 km/h, oczekiwania na autobus (3 min), jazdy autobusem i w końcu dojścia do stacji kolejowej z przystanku.

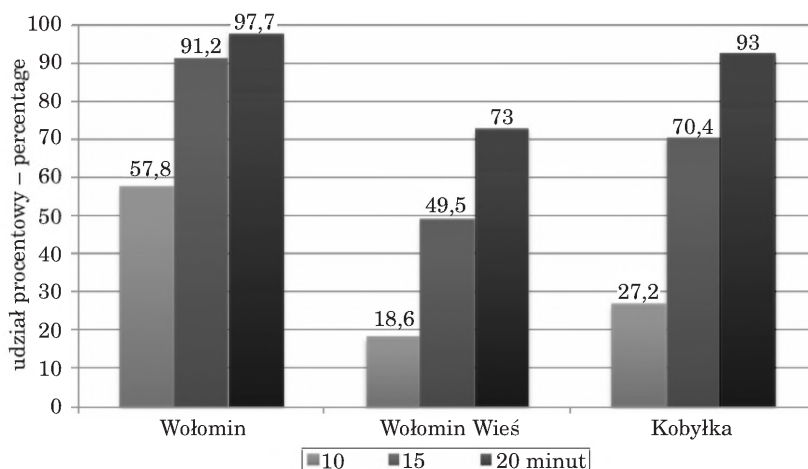
W przypadku strefy dojazdu wynoszącej do 10 minut najkorzystniej wypada miasto Wołomin, w którym prawie 58% mieszkańców jest w stanie dotrzeć do stacji kolejowej w takim czasie. Dla Kobyłki wartość ta jest ponad dwukrotnie mniejsza i wynosi tylko ok. 27%. Najgorzej wypada w tym zestawieniu obszar wiejski gminy Wołomin. W przypadku izochrony 15 minut widać znaczny wzrost wartości dla wszystkich jednostek (rys. 10).

Zmiany czasu dotarcia do stacji

Otrzymane wyniki można również przedstawić jako średni procentowy wzrost dostępności transportu kolejowego dla poszczególnych czasów dojazdu. Zestawienie takie przedstawiono na rysunku 11. Największy procentowy wzrost wystąpił na obszarach wiejskich gminy Wołomin oraz w Kobyłce, czyli jednostkach gdzie dostępność czasowa transportu kolejowego była pierwotnie niska. Na obszarach wiejskich w strefie dojazdu do 15 minut dostępność wzrosła średnio aż o 71%. W przypadku Kobyłki wzrost



Rys. 8. Mapa dostępności do stacji kolejowych z uwzględnieniem odległości
Fig. 8. Map of availability to railway stations based on distance after network analysis calculations



Rys. 9. Wykres dostępności czasowej stacji kolejowych z uwzględnieniem dojazdu autobusem i z przyjętą prędkością pieszego 4,2 km/h

Fig. 9. Availability to railway stations taking into account bus network and pedestrian speed (4.2 kilometers per hour)

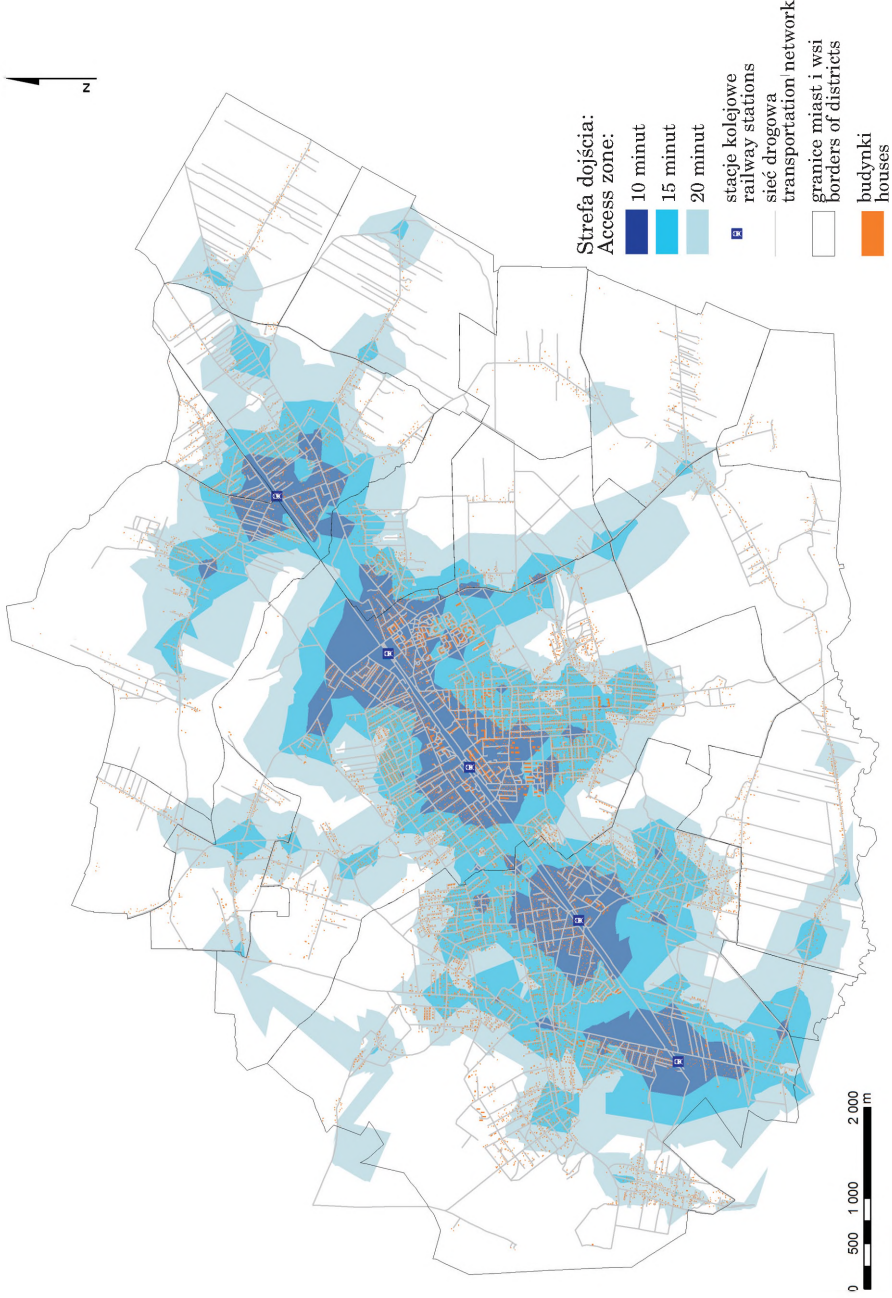
również był największy w strefie do 15 minut i wyniósł 61%. Wzrost wyników w Wołominie był dużo niższy, a największy w przypadku strefy dojazdu do 10 minut (26%).

WNIOSKI

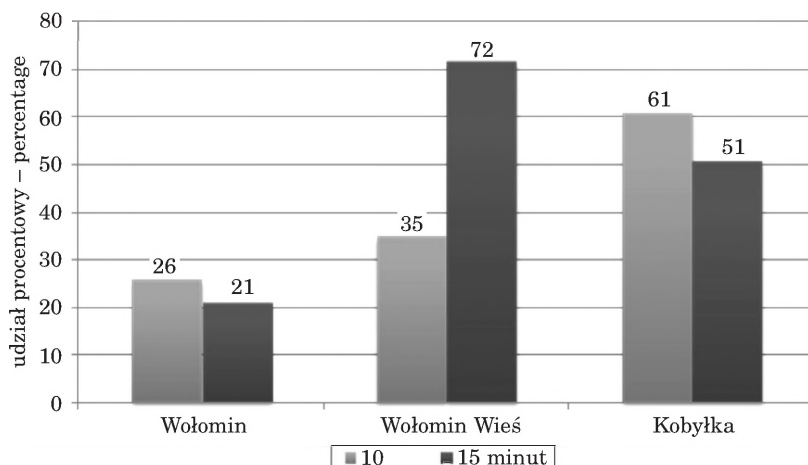
Z przeprowadzonych analiz wynika, że dostępność transportu kolejowego na obszarze gmin Wołomin i Kobyłka jest zróżnicowana. Wpływ na to ma zarówno charakter zabudowy danej miejscowości, jak i sama lokalizacja stacji kolejowych. Analiza zaproponowanego układu komunikacyjnego, składającego się z linii autobusowych dowożących mieszkańców do stacji kolejowych pozwala stwierdzić, że obecny stan infrastruktury drogowej i względnie niskie nakłady na nową infrastrukturę komunikacyjną umożliwiają osiągnięcie bardzo zadowalającego poziomu dostępności transportu publicznego.

Projektowane linie autobusowe zwiększyły dostępność transportu kolejowego. Na przykład w Wołominie uzyskano kilkunastoprocentowy wzrost poziomu dostępności. Najbardziej napawają optymizmem wyniki dla Kobyłki i obszarów wiejskich gminy Wołomin, gdzie zanotowano nawet kilkudziesięcioprocentowy wzrost dostępności stacji kolejowych.

Przeprowadzenie większości analiz nie byłoby możliwe bez wykorzystania narzędzi GIS. GIS umożliwił stworzenie modelu dwóch gmin uwzględniającego rozmieszczenie ludności i układu sieci drogowej. Jednocześnie należy podkreślić, że niezwykle ważne jest stałe monitorowanie aktualności wykorzystywanych do analiz danych. Budowa nowych dróg czy zespołów mieszkaniowych, może mieć znaczący wpływ na wyniki analiz.



Rys. 10. Mapa dostępności do stacji kolejowych z uwzględnieniem czasu dojazdu
Fig. 10. Map of availability to railway stations based on access time after network analysis calculations



Rys. 11. Wykres średniej procentowej zmiany dostępności transportu kolejowego w poszczególnych jednostkach

Fig. 11. Percent changes in availability of railway in three communes

Uzyskane wnioski pozwalają wyznaczyć podstawowe kierunki działań podczas rzeczywistych prac projektowych. Pokazują przede wszystkim, że obecny stan infrastruktury umożliwia zbudowanie systemu dowozowego do stacji kolejowych. Należy pamiętać, że tylko kompleksowa współpraca samorządów miast i gmin aglomeracji warszawskiej umożliwi budowę spójnej sieci komunikacyjnej. Z jednej strony pozwoli to zmniejszyć natężenie ruchu samochodowego w samej Warszawie, z drugiej zaś, zachęci mieszkańców do pozostawienia samochodów w garażu i przesiadki do szybkiego i wygodnego transportu publicznego.

PIŚMIENNICTWO

- Czarnecki W., 1970. Planowanie miast i osiedli. Sieć komunikacji miejskiej, Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Naukowe, t. 5.
- Dźwigoń W., 2007. Efektywność poprawy dostępności przystanków. *Transport Miejski i Regionalny* 6, 13–19.
- Majewski B., Beim M., 2008. Dostępność komunikacji publicznej w Poznaniu. *Biuletyn Geografii Społeczno-Ekonomicznej i Gospodarki Przestrzennej UAM w Poznaniu*.
- Uchwała Rady m.st. Warszawy z dnia 9 lipca 2009 nr r LVIII/1749/2009 Strategia Zrównoważonego Rozwoju Systemu Transportowego Warszawy do 2015 roku i na lata kolejne.
- Zarząd Transportu Miejskiego w Warszawie, <http://www.ztm.waw.pl>, dostęp: 19.03.2011 r.

APPLICATION OF NETWORK ANALYSIS IN PUBLIC TRANSPORT

Abstract. For many years GIS technology is used successfully in the land use management. Year by year we can observe more examples of GIS implementation in the municipalities and local governments in Poland. It is also expressed by numerous scientific conferences, trainings (INSPIERE Academy) and finally inviting bids for the GIS developments. The paper presents an example of using a spatial database for the municipalities Kobyłka and Wolomin to optimize the communication network of public transport. Nowadays it is urgent to solve communications problems in small towns which are close to big cities. The structure of employment is focused to big cities which naturally attract people from neighboring towns. In order to reduce migration and traffic jams it is very important to organize new communication links. Investing in the communications is extremely cost effective for local governments. That's why we take a look at network analysis applications in order to properly construct a communication network using GIS technology.

Key words: GIS, network analysis, public transport, spatial planning

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 6.06.2011