

ZASADY OPRACOWYWANIA MAP DOSTĘPNOŚCI

PRINCIPALS OF ELABORATING ACCESSIBILITY MAPS

Elżbieta Bielecka, Anna Filipczak

Zakład Systemów Informacji Geograficznej, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji
Wojskowa Akademia Techniczna

Słowa kluczowe: izochrony, mapa dostępności, interpolacja

Keywords: isochrones, accessibility map, interpolation

Wprowadzenie

Mapy dostępności, zwane także mapami dostępności czasowej lub komunikacyjnej (Pietrusiewicz, 1996), opracowywane są od ponad stu lat. Przedstawiają one czas dojazdu do wybranego miejsca różnymi środkami transportu lądowego, wodnego i powietrznego. Pierwszą taką mapę zaprezentował w 1881 r., na konferencji Królewskiego Towarzystwa Geograficznego, Francis Galton. Mapa przedstawiała dostępność czasową Londynu z dowolnego miejsca na świecie, wyrażoną w dobach (Galton, 1881). Od tamtej pory opracowano wiele map izochronicznych, różniących się skalą, zasięgiem, sposobem liczenia czasu przejazdu, uwzględnianymi środkami transportu oraz metodami szacowania czasu pomiędzy punktami pomiarowymi.

Dostępność czasową przedstawia się najczęściej za pomocą linii jednakowych odległości czasowych, zwanych izochronami, linii jednakowych kosztów podróży, czyli izodapan lub ekwidystant – linii jednakowej odległości od punktu. Używa się również terminu izohemera, oznaczającego linie równych odległości czasowych, wyznaczone w dobach. Na mapach przedstawiany jest najczęściej dostęp do szkół, przystanków, stacji kolejowych, lotnisk, dróg, rzek, osiedli, wybranych punktów w miastach, lub w przypadku opracowań małoskalowych – miast. Metody opracowania map dostępności czasowej są czasochłonne, wymagają zebrania dużej ilości danych oraz przeprowadzenia żmudnych obliczeń.

Artykuł prezentuje wyniki badań naukowych, których celem była analiza rozwiązań stosowanych przy opracowywaniu map dostępności, począwszy od dziewiętnastowiecznej mapy Galtona do współczesnych, interaktywnych map udostępnianych w sieci Internet, w tym Globalnej Mapy Dostępności wykonanej w JRC w Isprze. Szerokie rozważania metodyczne umożliwiły opracowanie mapy dostępności Wojskowej Akademii Technicznej oraz ocenę dokładności szacowania czasu dojazdu do WAT różnymi metodami interpolacji *IDW*, *spline* i *krigging*.

Przegląd istniejących rozwiązań – od mapy Galtona do Globalnej Mapy Dostępności

Autorem pierwszego opracowania przedstawiającego dostępność terytorium w mierze czasowej był Francis Galton, który w 1881 r. opracował mapę *Isochronic Passage Chart for Travelers* (Izochroniczna mapa dojazdu dla podróżnych) przedstawiającą dostępność Londynu z każdego miejsca na świecie. Obszary o jednakowej osiągalności czasowej za pośrednictwem ogólnodostępnych środków transportu oznaczył izoliniami, które nazwał izochronami. Mapa była przeznaczona przede wszystkim dla handlowców, bowiem Londyn pełnił wówczas rolę ważnego ośrodka handlowego. Jednakże Galton widział jej wykorzystanie także w turystyce i podróżnictwie.

Przez kolejne dziesięciolecia dostępność terenu była przedmiotem badań prowadzonych zarówno przez kartografów jak i geografów, a w ostatnich latach także planistów i urbanistów. Cennym źródłem informacji o metodach określania dostępności oraz ich kartograficznej prezentacji są prace geografów i kartografów niemieckojęzycznych z początków XX wieku m.in. Eckerta, Hassingera, Schjerninga i Riedla, opisane szczegółowo przez Pietrusiewicza (1996). Pietrusiewicz podaje również polskie osiągnięcia w tym zakresie. W okresie przedwojennym mapy dostępności wykonywała Wanda Rewieńska (*Izochrony Wilna*), Włodzimierz Kubijowicz, który opracował kilka map izochronicznych Galicji, Edward Boczar, autor mapy *Izochrony Polski obliczane od granic państwa*, wydanej przez Instytut Geografii UJ w 1933 oraz Józef Wąsowicz zajmujący się opracowaniem map izochron wojewódzkich (Pietrusiewicz, 1996). W okresie powojennym zainteresowanie tą metodą badań ogniskuje się głównie w dwu ośrodkach warszawskim i lubelskim. Opracowywane mapy dostępności są najczęściej ilustracją analizy różnych zagadnień z zakresu geografii społecznej, ekonomicznej, gospodarki przestrzennej, komunikacji i turystyki. Należy podkreślić, że mapy dostępności czasowej wykonywane w XX wieku to przede wszystkim mapy analogowe, wykonane ręcznie, na których do określenia przebiegu izochron wykorzystywano metodę interpolacji liniowej pomiędzy dwoma punktami o znanym czasie dojazdu.

Koniec lat 90. XX wieku zdecydowanie zmienił podejście do opracowywania dostępności komunikacyjnej terenu. Wielość aplikacji komputerowych znacznie ułatwiła i przyspieszyła żmudne wyliczenia czasu dojazdu, dając jednocześnie możliwość zastosowania różnych metod interpolacji lub algorytmu *cost-distance* oraz zwiększając obszar zastosowania metody. Na szczególną uwagę zasługują prace naukowców brytyjskich, takich jak Carden (*Travel Time Tube Map*), Nelson (2008), Lightfoot i Kelly (2006) wraz z opracowanymi przez nich internetowymi aplikacjami do obliczania i wizualizacji dostępności terytorium według kryteriów wybranych przez użytkownika, udostępnianymi na społecznościowej witrynie www.mySociety.org.

Mapy czasu dojazdu (*Travel-Time Maps*) opracowywane przez Lightfooda i Kellego (2006) i publikowane w Internecie ułatwiają podróżnym wybór najszybszych połączeń w trakcie podróży oraz wspomagają w podjęciu decyzji te osoby, które zmieniając mieszkanie lub miejsce pracy kierują się czasem potrzebnym na dojazd z domu do pracy. Opracowane przez nich mapy dostępności pokazują jak długo trwa dojazd pociągiem, czy samochodem do wybranych miast (Cambridge, Edynburg, Londyn) lub z których części Wielkiej Brytanii dojazd jest szybszy pociągiem, a z których samochodem. Mapy są czytelne i estetyczne, prezentowane w różnych skalach i z różną dokładnością, od izochron jednogodzinnych do dziesięciominutowych.

Równie ciekawym rozwiązaniem są interaktywne mapy czasu dojazdu metrem londyńskim opracowane przez Cardena i publikowane na autorskiej stronie internetowej http://www.tom-carden.co.uk/p5/tube_map_travel_times. Do prezentacji wyników obliczeń autor wykorzystał anamorfozę, w której wybrana stacja znajduje się w środku koncentrycznych okręgów, o promieniu wprost proporcjonalnym do czasu dojazdu (kreślonych co 10 minut). Autor udostępnia nie tylko mapy dostępności, ale także kody źródłowe aplikacji oraz dane niezbędne do uruchomienia programu.

Zupełnie inne podejście do opracowania mapy dostępności zastosował Nelson (2008) przygotowując Globalną Mapę Dostępności (*Global Accessibility Map*), która została opublikowana w raporcie Banku Światowego (*World Bank's World Development Report 2009*). Mapa przedstawia dostępność czasową do 8500 miast liczących, co najmniej 50 tys. ludności. W tym przypadku dostępność była obliczana z wykorzystaniem algorytmu *cost-distance*, który wyliczał koszt podróżowania między dwoma dowolnymi miastami i przypisywał go do komórek regularnej siatki. Macierz, w której każda komórka siatki charakteryzowana jest przez wartość czasu dojazdu nazywana jest *powierzchnią tarcia*. *Powierzchnia tarcia* zawiera informacje o czynnikach środowiskowych i politycznych decydujących o czasie trwania podróży. Czynniki środowiskowe związane są przede wszystkim z pokryciem i nachyleniem terenu, w istotny sposób wpływającymi na ograniczenie prędkości, natomiast czynniki polityczne związane są z czasem, który spędzamy na przejściach granicznych. Mapa, dostępna w postaci cyfrowej, jest bardzo przydatnym źródłem w wielu aplikacjach, szczególnie z zakresu urbanizacji i gospodarki przestrzennej. Z mapy tej wynika, że zaledwie 10% terytorium lądowego Ziemi jest odległe od miast o liczbie ludności powyżej 50 000 o więcej niż 48 godzin.

W Polsce dostępność czasowa (komunikacyjna) obszaru jest podstawą sporządzania strategii rozwoju obszarów (Feltynowski, 2009; Komornicki, 2008), planów i studiów zagospodarowania przestrzennego (Zegda, 2009), regionalizacji, rozwoju poszczególnych sieci transportowych (Kaczmarek, 1978; Lightfoot, Steinberg, 2006; Schurmann, 2000), rozwoju turystyki i rekreacji (Novosad, 1980). Jest istotnym czynnikiem implikującym rozwój suburbanizacji (Czernik, 2009; Nelson, 2008), rozwój rynku nieruchomości (Lightfoot, Kelly, 2006) oraz dostęp do edukacji (Guzik, 2003).

Mapy *czasowej dostępności komunikacyjnej do głównych ośrodków administracyjno-osadniczych* oraz *czasowej dostępności do ośrodków koncentracji infrastruktury społecznej*, opracowane na potrzeby Eksperckiego Projektu Koncepcji Przestrzennego Zagospodarowania Kraju (2008), wyraźnie wskazują, że w obrębie izochrony drogowej 60 minut względem ośrodków wojewódzkich mieszka obecnie blisko 58% ludności kraju, a w obrębie izochrony kolejowej 60 minut – 69%. Świadczy to o nierównomiernej dostępności komunikacyjnej do ośrodków wojewódzkich w Polsce, zagrożeniu marginalizacją i dysproporcjach związanych z rozwojem odległych regionów.

Metodyka opracowywania map dostępności

Podstawy metodyczne dotyczące określania dostępności terytorium są opisane w nielicznych pracach. W piśmiennictwie polskim, poza podręcznikiem Lecha Ratajskiego *Metody kartografii społeczno-gospodarczej* (Ratajski, 1990), opis podstaw metodycznych wykonywania map dostępności tradycyjnymi metodami kartograficznymi znajduje się w pracy Pie-

trusiewicza (1996). W literaturze światowej metodyczne aspekty wykorzystania nowoczesnych technologii geoinformatycznych do określania dostępności terytorium znajdują się w publikacjach Nelsona (2008), Schurmana (2000) i Streeta (2006).

Obliczenie dostępności komunikacyjnej terenu za pomocą określonych środków transportu wymaga wyboru ośrodka lub ośrodków wyjściowych, czyli podjęcia decyzji czy wykonywana mapa będzie mono czy policentryczna oraz wyboru obszaru, w obrębie którego będzie określana dostępność. W kolejnym etapie należy dokonać wyboru rodzaju transportu, sposobu obliczania czasu dojazdu oraz metody szacowania dostępności czasowej poza punktami pomiarowymi. Najmudniejszym etapem prac jest zgromadzenie danych i wykonanie obliczeń. Z reguły wykorzystywane są w tym celu rozkłady jazdy różnych przewoźników, przestrzenna lokalizacja sieci transportowej, punktów pomiarowych, ośrodka docelowego. Ostatnim etapem prac powinna być ocena wiarygodności i dokładności wyników oraz ich prezentacja w postaci mapy tematycznej.

Autorzy map dostępności komunikacyjnej (Lightfoot, Kelly, 2006; Lightfoot, Steinberg, 2006; Pietrusiewicz, 1996; Street, 2006) zwracają uwagę, że izochrony różnią się kształtem w zależności od tego czy w obliczeniach został uwzględniony tylko transport publiczny czy też transport indywidualny. Izochrony dla transportu indywidualnego mają z reguły kształt podłużny nawiązujący do przebiegu dróg, natomiast izochrony dla transportu publicznego ograniczonego trasami i przystankami oraz rozkładami jazdy mają zazwyczaj kształt okręgów i tworzą tzw. wyspy izochroniczne, których środki leżą w miejscach przystanków bądź stacji. Liczba wysp izochronicznych i odległości między nimi zależą od typu wybranych połączeń, a w szczególności od tego, czy w obliczeniach zostały uwzględnione połączenia zwykle, pośpieszne lub osobowe.

Uwzględnienie w analizie dostępności komunikacyjnej terenu tylko komunikacji publicznej skutkuje faktem, że na mapie pojawiają się obszary „niedostępne”, czyli takie, z których nie można dojechać do wybranego miejsca. Uwzględnienie wszystkich środków komunikacji, włącznie z transportem indywidualnym, umożliwia utworzenie powierzchni ciągłych, bez wysp izochronicznych. Przykładem tego typu opracowań jest Globalna Mapa Dostępności (*Global Accessibility Map*) wykonana przez Wspólnotowe Centrum Badawcze w Isprze dla Banku Światowego (Nelson, 2008; Williams, 2009).

Mimo dość dużego dorobku w zakresie opracowywania dostępności komunikacyjnej terytorium, do dziś nie ma sprecyzowanych i ujednoczonych zasad metodycznych dla tego typu prac, pomijając aspekt kartograficzny, związany z wizualizacją wyników. Metody interpolacji, wykorzystywane do określania dostępności komunikacyjnej w każdym punkcie badanego obszaru w stosunku do punktu centralnego, nie tylko nie są opisywane, ale najczęściej nie są nawet wymieniane. Nie wiadomo zatem jaką metodą została określona dostępność terytorium, jaki jest błąd określenia tej dostępności oraz na ile wybór metody interpolacji wpływa na dokładność wyników.

Obliczanie czasu dojazdu

W literaturze nie ma zgodności co do sposobu obliczania czasu podróży. Różni autorzy, w zależności od wielkości analizowanego obszaru i skali opracowania, przyjmują odmienne metody obliczania czasu przejazdu, biorąc pod uwagę najkrótszy czas dojazdu, czas średni, maksymalny lub czas powtarzający się najczęściej w rozkładach jazdy, a także czas oczeki-

wania i przesiadki. Czas dojścia do przystanku uwzględniany jest najczęściej tylko w pracach dotyczących analizy dostępności wybranych obszarów na terenie miast.

Dostępność określonego terytorium jest funkcją lokalizacji punktów początkowego i docelowego podróży, czasu podróży, dostępnych środków transportu i preferencji w zakresie kosztów. Obliczając całkowity czas podróży należy uwzględnić czas dojścia do przystanku, czas oczekiwania na środki komunikacji publicznej oraz czas przejazdu, co można wyrazić wzorem (Kaczmarek, 1978):

$$T = \Sigma t_d + \Sigma t_c + \Sigma t_p \quad (1)$$

gdzie:

T – całkowity czas podróży,

t_d – czas dojścia do przystanku,

t_c – czas oczekiwania na pojazd,

t_p – czas przejazdu.

Druga metoda obliczania czasu podróży, niemniej dyskusyjna, polega na określeniu kosztów odległości (ang. *cost-distance*) w mierze czasowej i zapisaniu ich w postaci macierzowej, w regularnej siatce kwadratów. Wpływ na wysokość kosztów odległości ma wiele czynników (Nelson, 2008), w tym rodzaj i stan techniczny sieci transportowej, czynniki środowiskowe takie jak ograniczenia prędkości spowodowane różnym użytkowaniem ziemi oraz spadkami terenu, a także czynniki polityczne związane z czasem potrzebnym na przekraczanie granic państwowych. Metoda ta wymaga zgromadzenia znacznie większej ilości danych oraz przyjęcia *a priori* pewnych warunków brzegowych istotnie wpływających na czas podróży (m.in. czas oczekiwania na przekroczenie granic państwowych, maksymalna prędkość na terenach zabudowanych, itp.).

Trzecia, najprostsza metoda określania dostępności terytorium, polega na określeniu ekwidystant o zadanej odległości od analizowanego obszaru. Przykładem tego typu opracowania jest analiza dostępności polskich portów lotniczych opracowana na potrzeby Krajowej Strategii Rozwoju Regionalnego (Ekspercki Projekt Koncepcji Przestrzennego Zagospodarowania Kraju, 2008; Feltynowski, 2009).

Dostępność Wojskowej Akademii Technicznej

Założenia

Wpływ wyboru metody interpolacji, do określania dostępności komunikacyjnej terenu na wiarygodność wyników przeprowadzono dla WAT, opracowując różnymi metodami dostępność komunikacyjną uczelni z terenu całej Warszawy.

Punkty pomiarowe, dla których obliczono czas dojazdu stanowiły przystanki komunikacji publicznej zlokalizowane w ważniejszych skrzyżowaniach dróg, przy stacjach metra i linii kolejowych oraz na terenach osiedli. Łącznie czas dojazdu do WAT określono dla 378 punktów, rozłożonych równomiernie na terenie Warszawy (Perzanowska, 2010). Rozmieszczenie punktów pomiarowych i kontrolnych pokazano na rysunku 1.

Przy obliczaniu czasu dojazdu wzięto pod uwagę rozkłady jazdy transportu publicznego z uwzględnieniem: autobusów ZTM, tramwajów ZTM, pociągów Kolei Mazowieckich (KM),

pociągów Szybkiej Kolei Miejskiej (SKM), metra oraz pociągów Warszawskiej Kolei Dojazdowej (WKD). Dane zebrano na przełomie listopada i grudnia 2009 r., notując czas dojazdu w dzień powszedni, o godzinie 8.00 rano. Dla każdego punktu pomiarowego (przystanku) brano pod uwagę taki rodzaj komunikacji, który umożliwiał jak najszybsze dotarcie do celu. W obliczeniach uwzględniono wszystkie połączenia zarówno bezpośrednie jak i z przesiadką, tak aby można było wyznaczyć jak najkrótszy czas dojazdu. Jako czas oczekiwania na transport przy połączeniach niebezpośrednich przyjęto średni czas oczekiwania wynoszący 5 minut. W przypadku dużych odległości od przystanków bądź stacji, gdzie konieczne jest dojście do punktu transportowego pieszo, przyjęto, że pieszy porusza się z prędkością 3 km/godz. i dla tej prędkości obliczano średni czas dojścia do przystanku. Całkowity czas dojazdu obliczano zgodnie ze wzorem (1).

Metoda

Interpolacja dostępności komunikacyjnej WAT została wykonana metodami *IDW*, *naturalnego sąsiada* i *spline* w programie ArcGIS 9.2.

W metodzie *IDW* na wynik interpolacji mają wpływ współczynnik potęgowy k , który decyduje o wpływie wartości i odległości punktów z sąsiedztwa na wynik interpolacji, liczba punktów branych do obliczeń oraz promień okręgu, wewnątrz którego znajdowały się punkty pomiarowe. W analizach przyjęto, że siła oddziaływania punktów z sąsiedztwa, wraz z współczynnikiem potęgowym k , zgodnie ze wzorem (2), wynosi 2; promień okręgu równał się 2000 m, a liczba punktów pomiarowych uwzględniana w obliczeniach obejmowała wszystkie punkty zlokalizowane wewnątrz okręgu.

$$Z_A = \sum_{i=1}^n w_i \cdot Z_i \quad (2)$$

gdzie:

Z_A – wartość cechy interpolowana w punkcie A;

$w_i = \frac{1}{d_i^k}$ – waga przypisana danemu punktowi pomiarowemu;

Z^i – wartość cechy w punkcie pomiarowym.

W metodzie *naturalnego sąsiada* nie ma możliwości ingerowania w wartości parametrów interpolacji. Interpolacja jest wykonywana wg wzoru (2), przy założeniu, że współczynnik potęgowy k wynosi 1. Obszar wpływu istniejących punktów pomiarowych na wyniki interpolacji jest obliczany na podstawie wieloboków Thiessena, wyznaczanych wokół punktów pomiarowych.

W metodzie *spline* założenia początkowe dotyczące minimalnej krzywizny powierzchni i jej przechodzenie przez punkty pomiarowe mogą być realizowane w dwu trybach: normalnym i tension. W trybie normalnym minimalizowane są trzecie pochodne funkcji, natomiast w trybie tension – pierwsze pochodne. Obliczenia eksperymentalne wykonano w trybie tension, przyjmując do obliczeń 15 punktów.

Wyniki i dyskusja

Opracowane mapy dostępności WAT, przedstawione na rysunkach 2, 3 i 4 różnią się liczbą i wielkością wysp izochronicznych, związanych z układem sieci komunikacji miejskiej w Warszawie oraz właściwym dla każdej z metod sposobem aproksymacji czasu dojazdu z dowolnego miejsca, na podstawie znanych czasów w punktach pomiarowych znajdujących się w jego otoczeniu.

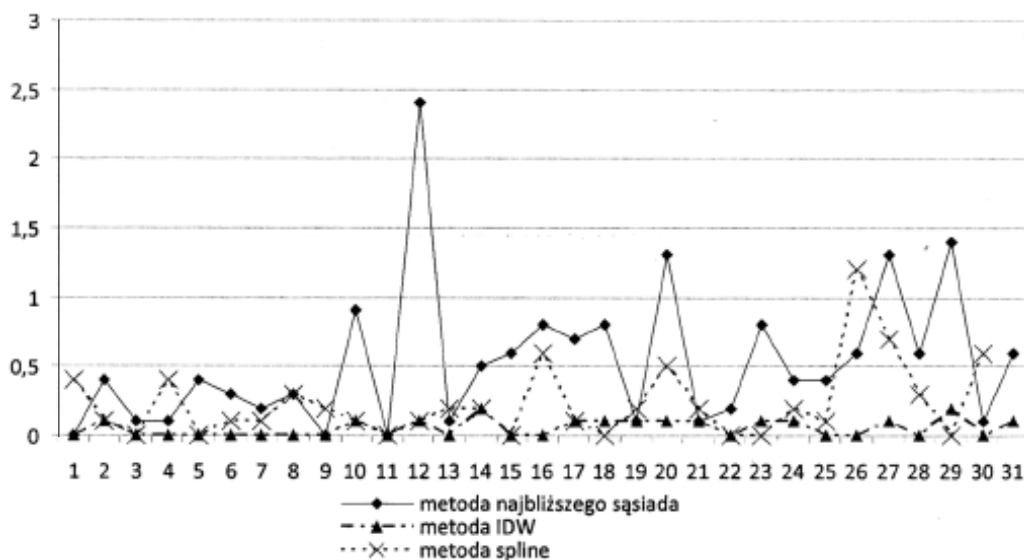
Przy ocenie przydatności metod interpolacji brano pod uwagę wielkość błędów interpolacji oraz poprawność i czytelność mapy dostępności czasowej, wyrażaną liczbą i wielkością wysp izochronicznych.

Błędy interpolacji zostały obliczone dla 30 punktów kontrolnych, zlokalizowanych w różnych kierunkach i różnych odległościach od ośrodka centralnego, dla którego określana jest dostępność komunikacyjna. Usytuowanie punktów kontrolnych w stosunku do WAT pokazano na rysunku 1.

Dla każdego z punktów kontrolnych obliczono błąd względny czasu dojazdu, jako moduł różnicy pomiędzy wyinterpolowaną wartością czasu dojazdu (T_{int}) w punkcie, a wartością określoną według rozkładów jazdy (T_z). Sposób obliczania błędu prezentuje wzór (3) (Davis, 1986).

$$\Delta = |T_{int} - T_z| \quad (3)$$

Najmniejsze wartości i najmniejsze zróżnicowanie błędu bezwzględnego czasu dojazdu do WAT występują w metodzie interpolacji IDW, natomiast największe i najbardziej zróżnicowane w metodzie najbliższego sąsiada (rys. 5). Ponadto w metodzie najbliższego sąsiada występują bardzo duże błędy interpolacji w punktach położonych blisko granicy obszaru



Rys. 5. Wykres wartości błędu bezwzględnego dla punktów kontrolnych

badawczego (granicy Warszawy). W metodzie spline, gdzie powierzchnia interpolacyjna ściśle odwzorowuje wartości w punktach pomiarowych, szczególnie widoczne są lokalne anomalie w postaci wysp izochronicznych i stosunkowo duże błędy na obszarach o mniejszym zagęszczeniu punktów pomiarowych.

Analizując mapę dostępności komunikacyjnej WAT można stwierdzić, że najszybszy dojazd na uczelnię jest ze Śródmieścia oraz z miejsc zlokalizowanych wzdłuż linii metra. Dzielnica Ursus mimo bliskości z uczelnią posiada niedogodne połączenia komunikacyjne, w związku z tym czas dojazdu wydłuża się nawet do 45 minut.

W 30 minutowej izochronie dojazdu do uczelni mieści się Bemowo, Centrum oraz częściowo Bielany i Włochy. Natomiast izochrona 60 minutowa obejmuje prawie cały obszar miasta o intensywnej zabudowie. Poza zasięgiem izochrony 60 minutowej pozostają: gminy Wawer i Wilanów, północno-wschodnie rejony gminy Białołęka, wschodnie tereny gminy Targówek, północne rejony gminy Rembertów oraz południowe obszary gminy Ursynów. Na mapie dostępności komunikacyjnej WAT jest kilka wysp izochronicznych. Ich liczba i wielkość jest uwarunkowana układem komunikacyjnym Warszawy oraz przyjętą metodą interpolacji. Wyspy takie są zlokalizowane m.in. w Rembertowie i Wawrze w okolicach stacji PKP, skąd czas dojazdu waha się od 45 do 60 minut, przy odległości wynoszącej około 18 km. Najmniej dogodny dojazd jest z dzielnic Wawer i Wesoła, co jest związane ze słabo rozbudowaną infrastrukturą komunikacji miejskiej na terenach leśnych i luźno zabudowanych. Najdłuższy, wyznaczony czas dojazdu wynosi 135 minut. Jest to czas potrzebny na dojechanie na WAT z osiedla Aleksandrów, zlokalizowanego w dzielnicy Wawer, gdzie część drogi trzeba pokonać pieszo.

Czynnikami najbardziej sprzyjającymi dobrej dostępności komunikacyjnej jest bliskość metra oraz linii tramwajowych. Z miejsc położonych w takiej samej odległości od uczelni z tych, które są zlokalizowane blisko metra dojazd jest szybszy o 15-20 minut (np. dojazd z miejsc odległych o 15 km od WAT zajmuje w przypadku Kobiałki 75 minut natomiast z Ursynowa 55 minut).

Uwzględnienie czasu dojazdu różnymi środkami komunikacji miejskiej (autobus, tramwaj, metro) i pociągami przedstawia stosunkowo obiektywny czas dojazdu na uczelnię poza godzinami szczytu. Jednakże ze względu na charakter infrastruktury komunikacyjnej Warszawy i bardzo zmienne natężenie ruchu w godzinach szczytu oraz poza szczytem, rzeczywista dostępność czasowa WAT jest różna w zależności od pory dnia. Rozwiązanie tego problemu może polegać na opracowaniu kilku map dostępności czasowej np. w godzinach szczytu porannego, popołudniowego i poza godzinami szczytu. Warto zauważyć, że dostępność komunikacyjna WAT pogorszyła się po zamknięciu w 2008 r. linii tramwajowej.

Wnioski

Metody interpolacyjne w różny sposób przedstawiają zmienność danych. W przypadku modelowania dostępności najmniejsze błędy bezwzględne otrzymano dla metody *IDW*, największe dla metody *najbliższego sąsiada*. Związane jest to z możliwością dostosowania parametrów interpolacji metodą *IDW* do specyfiki i charakteru danych pomiarowych. W obu metodach lepsze wyniki uzyskuje się wtedy, gdy zbiór danych jest gęsty i w miarę równomiernie rozmieszczony, co jest trudne do osiągnięcia na terenach o luźnej zabudowie.

W metodach *IDW* oraz *spline* ważny jest odpowiedni wybór punktów do interpolacji (tzw. sąsiedztw). Wybór zbyt małych sąsiedztw może spowodować powstanie obszarów niedostępnych i utworzenie mapy dostępności o charakterze nieciągłym.

Średnia wartości błędu interpolacji jest najniższa dla metody *IDW*, a najwyższa dla metody *najbliższego sąsiada*. Zważywszy, że prawie cały obszar Warszawy, poza bliskim sąsiedztwem WAT, jest zlokalizowana w obrębie izochron 45-60 minut, błędy interpolacji są niewielkie i nie przesądzają ostatecznie o wyborze jednej z analizowanych metod interpolacji. Znacznie większe różnice dotyczą liczby i wielkości wysp izochronicznych. Stosunkowo dużo małych wysp izochronicznych powstało w wyniku interpolacji metodą *spline*, co powoduje znacznie mniejszą jej przydatność do modelowania dostępności komunikacyjnej.

Literatura

- Carden T., Travel Time Tube Map. http://www.tom-carden.co.uk/p5/tube_map_travel_times/applet/
- Czernik L., 2009: Wieś w procesie suburbanizacji na przykładzie wybranych wsi południowej Anglii. Politechnika Szczecińska, www.led.ps.pl/publikacje/LC_PF_0407_S.pdf
- Davis J.C., 1986: Statistics and Data Analysis in Geology. John Wiley & Sons, New York.
- Ekspertycki Projekt Koncepcji Przestrzennego Zagospodarowania Kraju do roku 2033. 2008: Ministerstwo Rozwoju Regionalnego, Warszawa.
- Feltynowski M., 2009: Dostępność komunikacyjna jako element rozwoju gmin wiejskich łódzkiego obszaru metropolitalnego. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich* Nr 6/2009, s. 197–207, Kraków.
- Galton F., 1881: On the construction of isochronic Passage-Charts. *Proceedings of the Royal Geographical Society*, No 11, s. 657-658. Londyn.
- Guzik R., 2003: Przestrzenna dostępność szkolnictwa ponadpodstawowego. Wyd. Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.
- Karczmarek W., 1978: Czas i koszty jako kryteria wyznaczania rejonów ciężenia do punktów komunikacyjnych. Zeszyty naukowe Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Seria 1.
- Komornicki T. (red.), 2008: Opracowanie metodologii liczenia wskaźnika międzygałęziowej dostępności transportowej terytorium Polski oraz jego oszacowanie. Opracowanie wykonane dla Ministerstwa Rozwoju Regionalnego, Warszawa.
- Lightfoot Ch., Kelly F., 2006: Travel-time maps – transforming our view of transport. *Asymptopia* October, Wyd. University of Cambridge, pp.1-2.
- Lightfoot Ch., T. 2006: Steinberg Travel-time Maps and their Uses. <http://www.mysociety.org/2006/travel-time-maps/>
- Nelson A., 2008: Travel time to major cities: A global map of Accessibility. Global Environment Monitoring Unit – Joint Research Centre of the European Commission, Ispra Italy, dostępne <http://gem.jrc.ec.europa.eu/>
- Novosad M., 1980: Dostępność komunikacyjna górnego Wieprza pod kątem rekreacji niedzielnej. *Problemy turystyki* nr 3 (9), Warszawa.
- Perzanowska M., 2010: Mapa dostępności komunikacyjnej Wojskowej Akademii Technicznej. Praca inżynierska pod kierunkiem dr hab. inż. E. Bieleckiej, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji, WAT, Warszawa.
- Pietrusiewicz W., 1996: Problemy metodyczne opracowywania map dostępności czasowej. *Polski Przegląd Kartograficzny* t 28, nr 2, s.87-99.
- Ratajski L., 1990: Metody kartografii społeczno-gospodarczej. PPWK, Warszawa.
- Street N., 2006: TimeContours: Using isochrone visualisation to describe transport network travel cost. Final Report, Department of Computing Imperial College, 14 June. <http://www3.imperial.ac.uk/pls/portallive/docs/1/18619712.PDF> (pobrano 13 maja 2010 r.).
- Schurmann C., 2010: Rail and Road Isochrones from Berlin. <http://www.raumplanung.uni-dortmund.de/irpud/en/112/>
- Williams C., 2009: Where's the remotest place on Earth? *NewScientist*, no 2704, 20 April.
- Witt W., 1970: Thematische Kartographie. Methoden und Probleme. Hannover.

World Bank's World Development Report 2009 Reshaping Economic Geography (November 2008)

<http://econ.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/EXTDEC/EXTRESEARCH/EXTWDRS/EXTWDR2009/0>
Zegda L., 2009: 2020 – Wyzwania dla Małopolski.

<http://www.starostwo.nowy-sacz.pl/konwent/pliki/2009-11-17/> (pobrano 8 maja 2010 r.).

Abstract

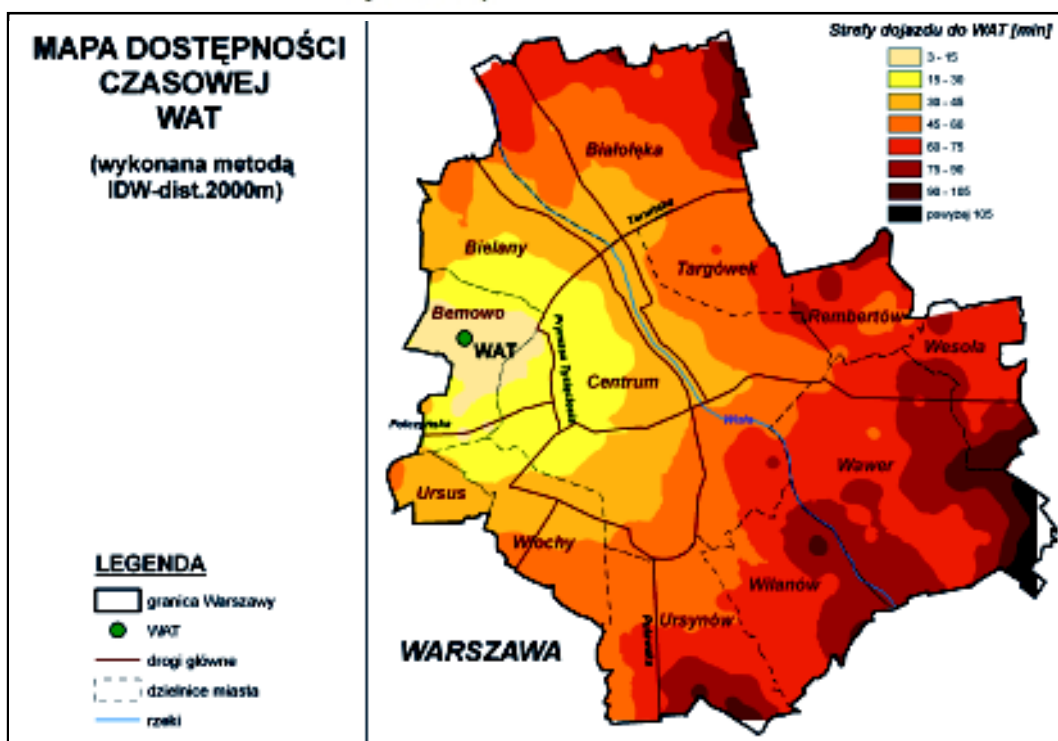
A accessibility map presents the travel time to a selected location by different means of transportation (land, water, air travel) in the form of isochrones defined as lines connecting points of equal travel time. The first map presenting accessibility was the world map by F. Galton, elaborated in 1881 and entitled „Isochronic Passage Chart for Travelers”. The map showed the smallest number of days for journey from London by the quickest means of transportation available in that time at a reasonable cost. Author found that the elaborated principles could be adapted in many ways for the convenience of tourists and such maps might be easily constructed for continental travelers or for home excursions. After over 127 years, in 2008 the European Commission's Joint Research Centre released and published in the „World Bank's World Development Report 2009” a new world map entitled „Travel time to major cities: A global map of Accessibility”. This map shows measures of urbanisation from the new perspective of travel time to 8,500 Major Cities (cities with population of 50,000 or more in 2000). The accessibility here was defined as the travel time to any location using land (road/off road) or water (navigable river, lake and ocean) based travel. This accessibility was computed using a cost-distance algorithm which computes the „cost” of travel between two locations on a regular raster grid. The cells in this raster grid contain values which represent the cost (measured in units of time) required to travel across them, hence this raster grid is often termed a friction-surface. The friction-surface contains information about the transport network and environmental and political factors that affect travel times between locations, while transport networks include road and rail networks, navigable rivers and shipping lanes. Environmental factors generally contribute to travel speed off the transport network, such as land cover and slope. Political factors such as national boundaries and border crossings can act as barriers or travel delays. The global map of travel time to major cities is a useful dataset in many fields of application and fills an important gap in our understanding of economic, physical and even social connectivity.

The paper presents different methodological approaches to construction of accessibility maps, discusses the methods and the obtained results. The study was conducted for the Military Academy of Technology, developing isochronic surface from the territory of Warsaw by means of public transport. On the basis of the results obtained we found that the slightest interpolation error occurred in the surface created by IDW interpolation method and there were also small isochronic islands. The largest interpolation errors occurred in the nearest neighbor method, but the least favorable distribution of isochronic islands was in the surface created by the spline method.

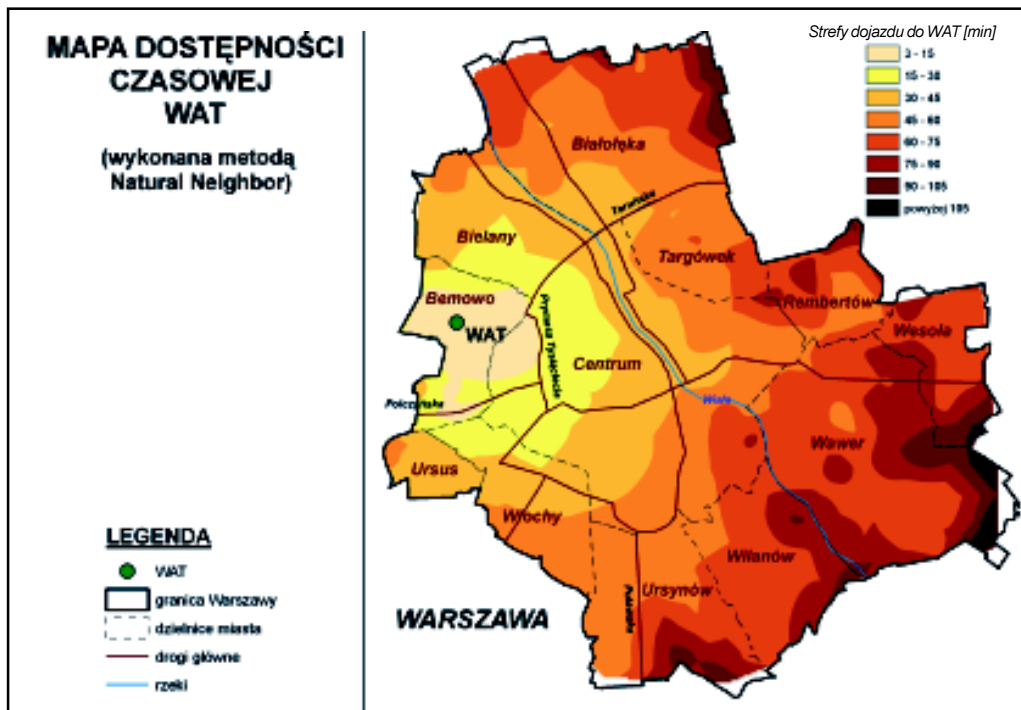
dr hab. inż. Elżbieta Bielecka, prof. WAT
elzbieta.bielecka@igik.edu.pl

mgr inż. Anna Filipczak
Doktorantka na Wydziale Inżynierii Lądowej
i Geodezji WAT

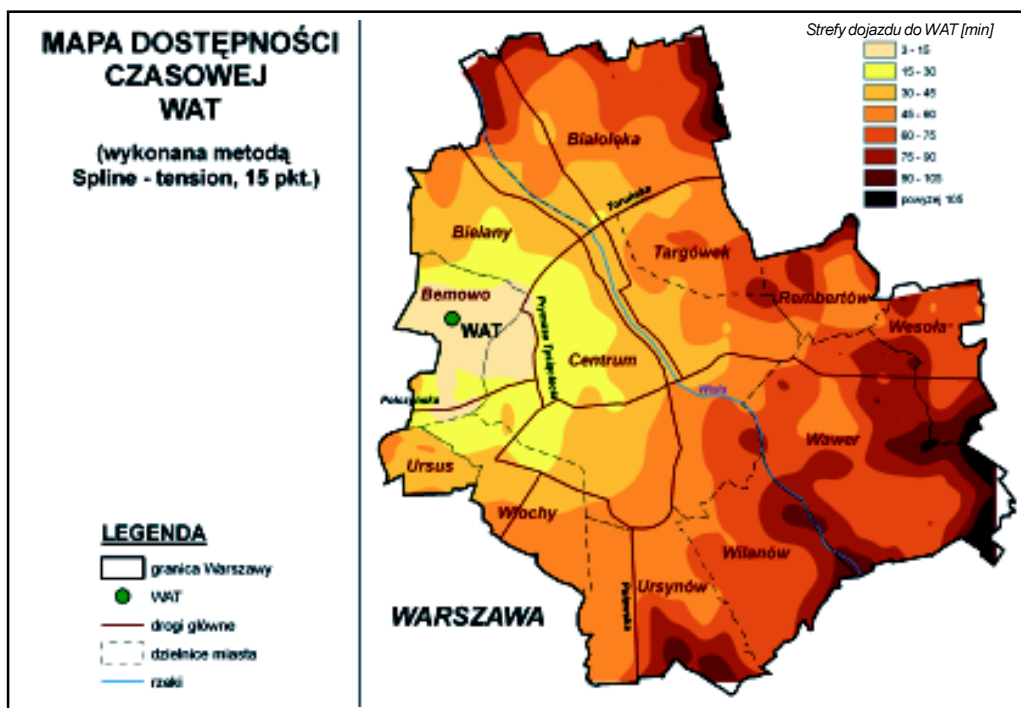
Rys. 1. Rozkład punktów pomiarowych i kontrolnych



Rys. 2. Mapa dostępności WAT, interpolacja metodą IDW



Rys. 3. Mapa dostępności WAT, interpolacja metodą *NN* (naturalnego sąsiada)



Rys. 4. Mapa dostępności WAT, interpolacja metodą *spline*