

## Porównanie wybranych metod analizy dostępności przestrzennej na przykładzie obiektów użyteczności publicznej w Toruniu

Comparison of selected methods of spatial accessibility analysis  
on the example of public amenities in Toruń

Jan Burdziej

Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wydział Nauk o Ziemi, Katedra Geomatyki i Kartografii

**Słowa kluczowe:** dostępność przestrzenna, analizy sieciowe, izochrony, siatka heksagonalna  
Keywords: spatial accessibility, network analysis, isochrones, hexagonal sampling grid

### Wprowadzenie

Nelson (2008), autor Globalnej Mapy Dostępności stwierdził, że *dostępność – rynków, szkół, szpitali czy wody – jest warunkiem spełnienia prawie wszystkich potrzeb ekonomicznych*. Co więcej, stwierdził on, że dostępność jest istotna na wszystkich poziomach, od rozwoju lokalnego do globalnego handlu. W ostatnich latach zauważyć można rosnące zainteresowanie zagadnieniami związanymi z dostępnością przestrzenną. Badania koncentrują się na ocenie dostępności do takich usług jak: sieć transportu publicznego (Zhu, Liu, 2004; Florczak, 2013), placówki opieki zdrowotnej (Lovett i in., 2002; Stępnia, 2013), szkoły (Guzik, 2003b; Zhu, Liu, Yeow, 2006a), centra handlowe bądź tereny zielone (Chiesura, 2004; Oh, Jeong, 2007; Tyrväinen, Mäkinen, Schipperijn, 2007; Comber, Brunsdon, Green, 2008; Lee, Hong, 2013; Michniewicz-Ankiersztajn, 2014; Balfour, Allen, 2014). Analizie podlega przy tym często korelacja poziomu dostępności z innymi zjawiskami społecznymi i gospodarczymi (np. cenami nieruchomości, stanem zdrowia, poziomem jakości życia itp.).

Opracowywane są również nowe metody analizy oraz wizualizacji dostępności (Peng, 1997; Luo, Wang, 2003; Luo, Qi, 2009; Stępnia, 2013; Delamater, 2013). Pojawia się także wiele nowych serwisów i aplikacji internetowych pozwalających zwykłym użytkownikom analizować przestrzeń z punktu widzenia dostępności przestrzennej, w tym zwłaszcza dostępności czasowej (Mapumental|mySociety, 2015; AccessAdvisr, 2017).

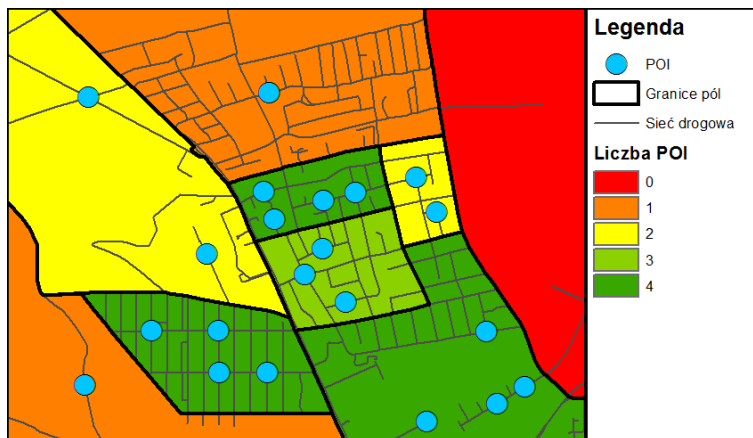
Dostępność przestrzenną określa się obliczając koszt dotarcia do określonej lokalizacji, którym może być: odległość fizyczna, czas podróży, koszt finansowy itp. W artykule dostępność przestrzenną analizowano pod kątem czasów dojazdu przy użyciu samochodu, uwzględniając istniejące ograniczenia prędkości, dlatego też pojęcie dostępności czasowej i przestrzennej stosowane są w artykule zamiennie.

Niniejsze badania mają na celu ocenę wybranych metod analizy dostępności przestrzennej i ich wpływu na uzyskiwane wyniki czasów dojazdu. Szczegółowemu porównaniu poddano metodę izochron (stref obsługi) oraz metodę pól odniesienia. Obie metody zastosowano do oceny dostępności wybranych obiektów użyteczności publicznej w Toruniu. Celem tej analizy była ocena różnic w wynikach dostępności czasowej uzyskanych za pomocą obu metod w kontekście przestrzennym.

## Przegląd wybranych metod analizy dostępności przestrzennej

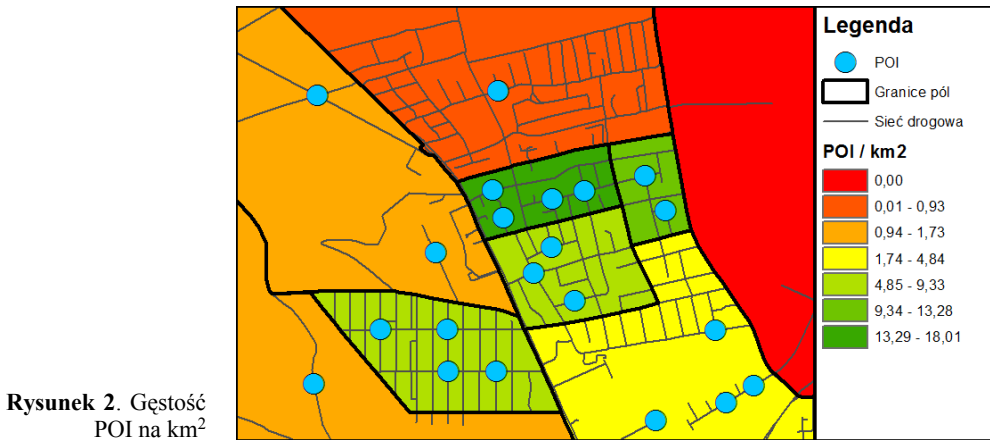
### Analizy liczebności oraz gęstości

Jednym z najprostszych wskaźników dostępności przestrzennej wybranych usług jest wskaźnik liczebności. Zakłada on, że dostępność jest tym większa, im większa jest liczba obiektów w danej jednostce odniesienia (rys. 1). Najczęściej jako pola odniesienia przyjmuje się jednostki administracyjne, takie jak: gminy, powiaty, województwa lub kraje. Powodem popularności tego rodzaju pól odniesienia jest w dużej mierze łatwość pozyskania danych statystycznych, które z reguły są gromadzone i agregowane właśnie w odniesieniu do jednostek podziału administracyjnego. Rzadziej stosuje się geometryczne pola odniesienia (np. kwadraty lub sześcioboki).



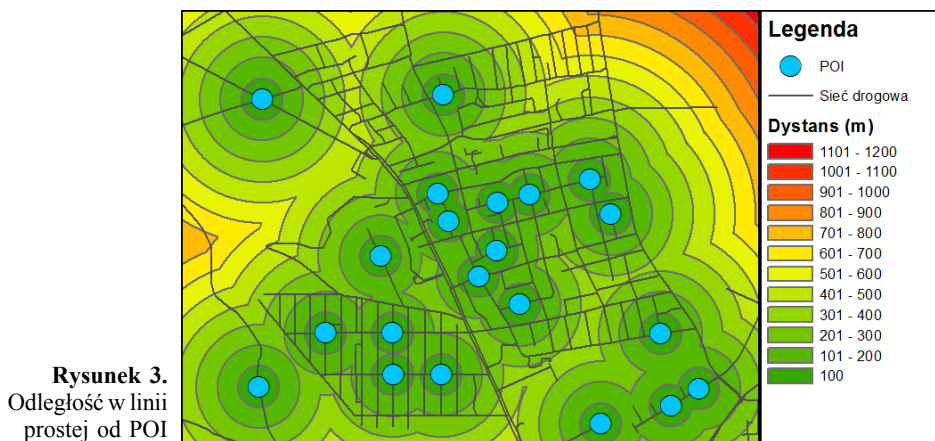
**Rysunek 1.** Liczba POI w poszczególnych regionach

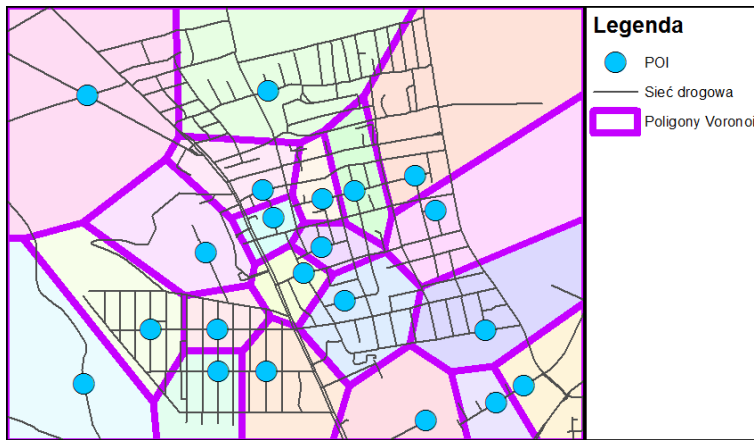
Niestety, z uwagi na duże zróżnicowanie wielkości poszczególnych jednostek administracyjnych, określenie samej liczby obiektów znajdujących się w danym polu nie pozwala na miarodajne porównania. Aby zminimalizować wpływ wielkości pola odniesienia, liczbę obiektów przelicza się często na jednostkę powierzchni w danym polu (rys. 2). Miernikiem dostępności jest w takim przypadku gęstość obiektów przypadająca na jednostkę powierzchni, na przykład liczba szkół na km<sup>2</sup> lub liczba szpitali na 100 ha (Dominiak, 2015). Podejście takie nie bierze jednak pod uwagę przestrzennego rozmieszczenia poszczególnych obiektów wewnątrz badanego obszaru, jak również relacji przestrzennych pomiędzy obiektami położonymi w sąsiadujących regionach. Nie uwzględnia również rzeczywistej dostępności wynikającej z istniejącej sieci transportowej. Metoda ta cechuje się z reguły bardzo dużym stopniem zagregowania danych i wykorzystywana jest głównie w analizach regionalnych w ujęciu statystycznym, na przykład w układzie powiatów, gmin lub dzielnic.



### Analizy oparte o odległość w linii prostej

Z uwagi na wspomniane ograniczenia wielu autorów dostrzega potrzebę uwzględnienia przestrzennego rozmieszczenia analizowanych obiektów i ich wzajemnego oddalenia. Najprostszym sposobem jest określenie odległości w linii prostej pomiędzy badanymi obiektami. Można w tym celu obliczyć odległość pomiędzy dwoma punktami na płaszczyźnie (dla obiektów położonych w stosunkowo niewielkiej odległości) lub też na powierzchni elipsoidy (tzn. uwzględniając krzywiznę Ziemi, wyznaczając tzw. ortodromę). Odległość w linii prostej może być obliczona zarówno dla: punktów, linii, jak i poligonów. Bazują na niej takie metody geomatyczne, jak na przykład: buforowanie (rys. 3), tworzenie poligonów Thiessena/Voronoi (rys. 4), obliczanie odległości euklidesowej w modelu rastrowym itp. Odległość w linii prostej jest też stosowana w rozmaitych wzorach, na przykład w metodzie ilorazu potencjału (Guzik, 2003a).





**Rysunek 4.** Poligony Voroni

### Analizy oparte o model sieci drogowej

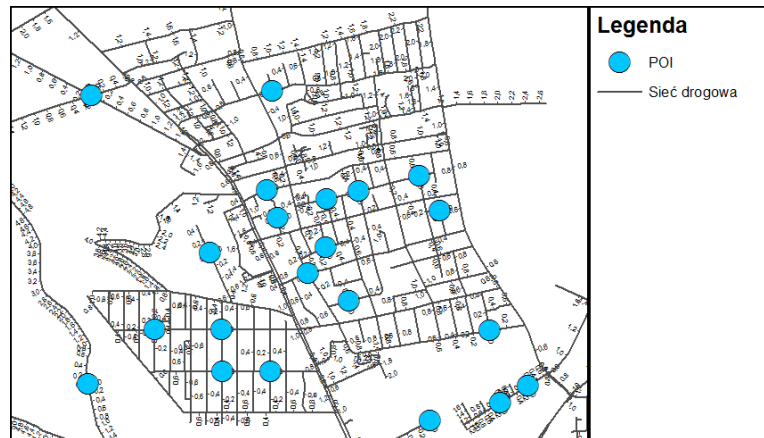
Rzeczywista trasa, która warunkuje dostęp do danej lokalizacji, nie jest jednak linią prostą. Jest ona uzależniona od wielu czynników, do których zalicza się przede wszystkim układ sieci transportowej (układ chodników, dróg, ulic, linii kolejowych itp.) oraz wybrany środek transportu. W przypadku transportu publicznego zarówno sama trasa, jak i czas podróży są dodatkowo uzależnione od organizacji tego transportu (np. częstotliwości kursowania, możliwości przesiadek – porównaj Komornicki i in., 2008). Jak wskazuje wielu autorów, z punktu widzenia człowieka dużo ważniejszy jest właśnie czas podróży niż sama odległość (Lijewski, 1985; Guzik, 2003a).

Rozwój danych przestrzennych opisujących układ sieci drogowych, standardy wymiany danych o połączeniach komunikacji publicznej, takie jak GTFS (General Transit Feed Specification – Wikipedia, 2017), jak również komputerowa implementacja algorytmów do wyznaczania najkrótszych ścieżek (np. algorytmu Dijkstry bądź problemu komiwojażera) pozwalają na sprawne wyznaczanie tras przejazdów pomiędzy wybranymi punktami. Rozwiązania te znalazły powszechne zastosowanie w: serwisach mapowych, aplikacjach mobilnych oraz nawigacji samochodowej.



**Rysunek 5.** Rzutowanie POI na sieć drogową

**Rysunek 6.**  
Wycechowana sieć  
drogowa



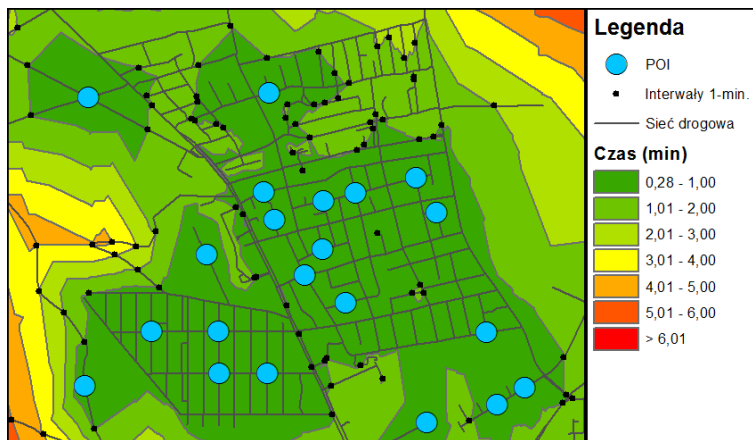
Analiza w oparciu o sieć drogową przebiega z reguły kilkietapowo. Najpierw punkt (lub punkty) początkowe są rzutowane na sieć drogową (rys. 5), a następnie liczony jest skumulowany czas dojazdu do poszczególnych punktów zlokalizowanych wzdłuż segmentów dróg (rys. 6).

Powstaje w ten sposób wycechowana sieć drogowa, dzięki której dla dowolnego punktu zlokalizowanego na tej sieci można określić najkrótszy czas dotarcia. Tak wycechowana sieć drogowa pozwala na opracowanie różnych form kartograficznej wizualizacji dostępności (Wielebski, 2013), między innymi wykreślenie kartodiagramu wstęgowego (rys. 7) lub interpolację izochron (rys. 8). Na podstawie takiej sieci można wyznaczyć najszybszą trasę przejazdu pomiędzy dowolnymi punktami, jak również wyznaczyć zasięg dojazdu w określonych interwałach czasowych z wybranego punktu początkowego (tzw. strefy obsługi/serwisowe).

Analizy sieciowe można również zastosować do oceny przestrzennego zróżnicowania dostępności w określonym obszarze (np. kraju, regionie bądź mieście). Najczęściej w tym celu stosowana jest metoda izochron oraz jej różne modyfikacje.

**Rysunek 7.** Kartodiagram  
wstęgowy





**Rysunek 8.** Izochrony (interwał 1 minuta)

### Metoda izochron

Izochrony, podobnie jak kartodiagram wstępowy, wykonuje się najczęściej dla z góry określonych interwałów (np. 1-minutowych) na wycechowanej sieci drogowej. Wyznacza się w ten sposób punkty, w których zakumulowany czas dojazdu jest wielokrotnością przyjętego interwału. Następnie na podstawie tych punktów wykonuje się interpolację izolinii.

Popularność metody izochron wynika między innymi z łatwej i wygodnej dla użytkownika percepcji wyników oraz z faktu, iż została ona zaimplementowana w wielu pakietach oprogramowania GIS. Narzędzia te z reguły automatycznie wykonują wszystkie kroki, to jest: analizę sieciową i akumulację czasów dojazdu, generowanie punktów w określonych interwałach oraz specjalnie przystosowaną interpolację izochron, zapewniającą ciągłość obszarów o jednakowej dostępności i ich zgodność z siecią drogową.

Pomimo swojej popularności i wielu zalet, metoda izochron ma również istotne ograniczenia (porównaj Pietrusiewicz, 1996). Prowadzi ona do określenia dostępności za pomocą przedziałów czasowych, na przykład: 0-5 min., 5-10 min., a nie za pomocą wartości bezwzględnych. Ogranicza to istotnie możliwości dalszej analizy i przetwarzania tak uzyskanych wyników. Ponadto metoda ta ma ograniczone możliwości modelowania dostępności do obszarów położonych poza siecią drogową, a korzystanie z gotowych narzędzi i standardowych ustawień utrudnia kontrolę procesu interpolacji czasów dojazdu pomiędzy drogami. W przypadku analiz w obszarach o niewielkiej gęstości sieci drogowej metoda ta będzie prowadziła do uzyskania zaniżonych czasów dojazdu, o błędach tym większych, im większe są odległości od sieci drogowej.

Na bazie metody izochron powstały też liczne nowe metody analizy dostępności. Jedną z nowszych i jednocześnie dynamicznie rozwijanych jest dwuetapowa metoda analizy obszarów rynkowych 2SFCA (ang. *two-step floating catchment area*) oraz jej różne modyfikacje (Peng, 1997; Luo, Qi, 2009; Delamater, 2013; McGrail, Humphreys, 2014; Langford, Higgs, Fry, 2016). Ma ona zastosowanie zwłaszcza w kontekście dostępności do określonych usług, pozwala bowiem uwzględnić w analizie zarówno aspekt podaży (np. liczba łóżek w szpitalach), jak i popytu (liczba ludności w pobliżu danego szpitala) (Stępnia, 2013). Wszystkie te metody obarczone są jednak ograniczeniami wynikającymi z metody izochron, która wykorzystywana jest do delimitacji obszaru o określonej dostępności czasowej.

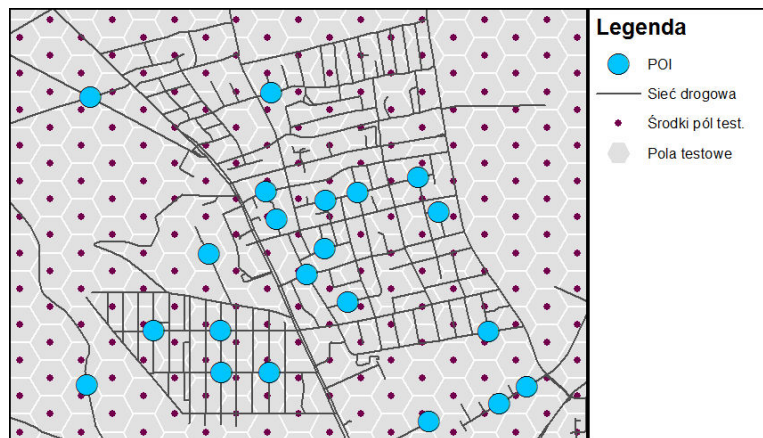


Innym sposobem tworzenia izochron jest obliczenie czasu dojazdu do wybranych punktów testowych (np. przystanków komunikacji publicznej), a następnie interpolacja izochron (Bielecka, Filipczak, 2010). W ten sposób powstała zresztą pierwsza mapa izochronowa, opracowana przez F. Galtona (1881).

### Metoda pól odniesienia

Rzadziej spotykanym w literaturze, a jednocześnie posiadającym wiele zalet podejściem badania zróżnicowania dostępności w przestrzeni jest metoda pól testowych (Zhu, Liu, 2004; Zhu, Liu, Yeow, 2006b). Polega ona na wyznaczeniu na całym badanym obszarze siatki pól testowych (lub punktów pomiarowych), które stanowią punkty początkowe do analizy sieciowej (rys. 9). Następnie określa się obiekty docelowe (np. szkoły lub przychodnie). Dla wszystkich punktów początkowych oblicza się najkrótszy czas podróży do najbliższego punktu docelowego (rys. 10). Można też taką analizę uszczegółowić, obliczając najkrótsze czasy przejazdów dla wszystkich par punktów początkowych i docelowych, co pozwala obliczyć wiele dodatkowych statystyk, których nie da się uzyskać na przykład za pomocą metody izochron.

Rysunek 9. Siatka pól heksagonalnych



Rysunek 10. Dostępność policzona dla pól heksagonalnych



Zaletą metody pól testowych jest również jej duża elastyczność. Metoda ta pozwala dowolnie określić kierunkowość badania dostępności, można bowiem przyjąć, że pola testowe będą stanowiły punkty docelowe, a nie początkowe (np. w przypadku analizy dostępności terenu z jednostek straży pożarnej). Dodatkowo dzięki zastosowaniu odpowiednio gęstej siatki pól testowych można uniknąć konieczności wykonywania interpolacji, zachowując ciągłość przestrzenną na etapie wizualizacji kartograficznej. Możliwe jest więc dostosowanie parametrów analizy do danych źródłowych oraz oczekiwanego poziomu dokładności analizy przez dobór odpowiedniego kształtu i rozmiaru pól testowych. Warto przy tym zwrócić uwagę, iż elastyczność w wyborze pól testowych sprawia, że w metodzie tej można w wygodny sposób wykorzystać dane statystyczne publikowane w siatkach kilometrowych (Nowe dane demograficzne w siatkach kilometrowych dostępne w formacie shp - Start - Portal Geostatystyczny, 2017).

Co więcej, w metodzie pól testowych można kontrolować dokładniej to, w jaki sposób odległość od sieci drogowej wpływa na uzyskane czasy podróży. Można także każdemu polu przypisać różne cechy, takie jak: czas dojazdu do określonych obiektów, odległość od sieci drogowej, informacje o odległościach do innych obiektów itp. Dzięki temu w tym samym układzie pól testowych można dokonywać różnego rodzaju analiz i porównań. Dodatkowo, metoda ta może korzystać z gotowych algorytmów sieciowych, liczących czasy przejazdu pomiędzy wszystkimi parami punktów początkowych i docelowych, na przykład OD Cost Matrix w pakiecie ArcGIS Network Analyst bądź Google Distance Matrix lub OSRM table (Google Maps Distance Matrix API, 2017; OD cost matrix analysis-Help|ArcGIS Desktop, 2017; OSRM API Documentation, 2017).

## **Porównanie metody pól odniesienia oraz metody izochron na przykładzie analizy dostępności do wybranych usług w Toruniu**

### **Metodyka analizy dostępności w polach odniesienia**

Na potrzeby analizy dostępności do wybranych usług w Toruniu, którego powierzchnia wynosi około 115,5 km<sup>2</sup>, wygenerowano siatkę 4693 sześcioboków foremnych o boku równym 100 m i powierzchni 2,6 ha. Zgromadzono także bazę składającą się z 1990 obiektów użyteczności publicznej (POI), podzielonych na 16 kategorii, między innymi: przedszkola, szkoły podstawowe, supermarkety, muzea, kościoły itp. W oparciu o dane z serwisu OpenStreetMap w środowisku ArcGIS Network Analyst zbudowany został model sieci drogowej. Objął on swoim zasięgiem również część dróg położonych poza granicami miasta, aby uwzględnić różne warianty dojazdu dla terenów przygranicznych. Do analizy przyjęto następujące założenia: czas dojazdu został określony dla podróży samochodem, z uwzględnieniem maksymalnych dopuszczalnych prędkości na poszczególnych fragmentach ulic. Dodatkowo w opracowanym modelu oszacowano opóźnienia w czasie przejazdu spowodowane przejazdem przez skrzyżowania, uwzględniając przy tym kategorię drogi oraz kierunek skrętu. W efekcie na przykład skręt z drogi głównej w podrzędną wiązał się z mniejszym opóźnieniem niż skręt z drogi podrzędnej w główną, podobnie jak skręt w prawo wiązał się z mniejszym opóźnieniem niż skręt w lewo.



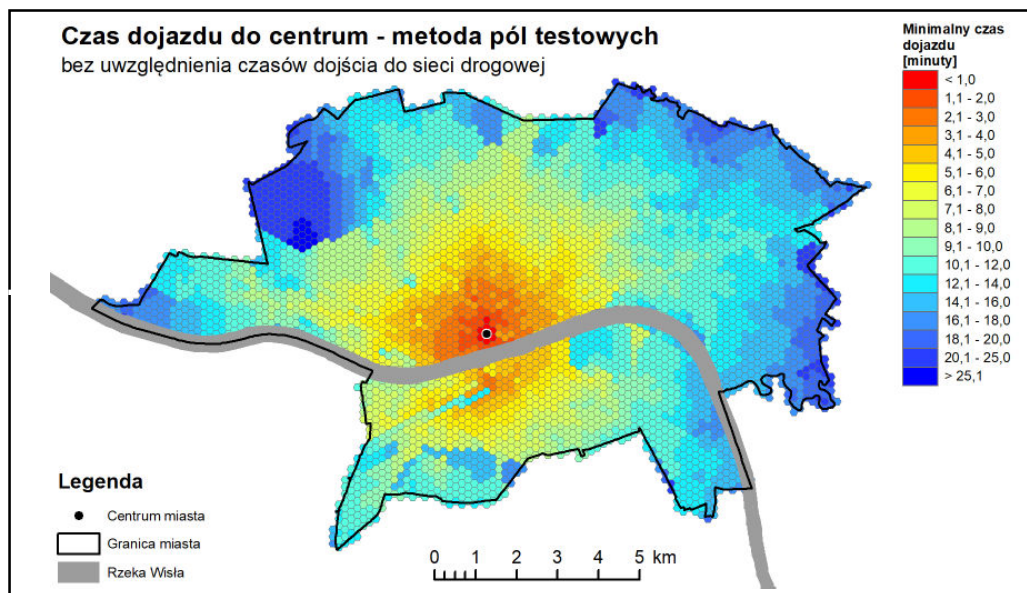
Korzystając z narzędzia OD Cost Matrix obliczone zostały odległości drogowe i czasowe pomiędzy wszystkimi parami punktów początkowych (środki pól sześciobocznych) oraz docelowych (POI), uzyskując łącznie 9 339 070 tras.

Uzyskane wyniki zostały następnie zwizualizowane w postaci kartogramów obrazujących dostępność czasową dla poszczególnych kategorii obiektów użyteczności publicznej. Aby ułatwić wizualne porównanie poszczególnych kategorii dla wszystkich map przyjęto jednakowy podział na klasy o rozpiętości 1 minuty, przy czym ostatnia klasa objęła wartości dostępności powyżej 25 minut. Przyjęty podział na 26 klas, dzięki zastosowaniu trójkolorowej skali barw, pozwolił jednocześnie zaprezentować zmianę w sposób wizualnie ciągły.

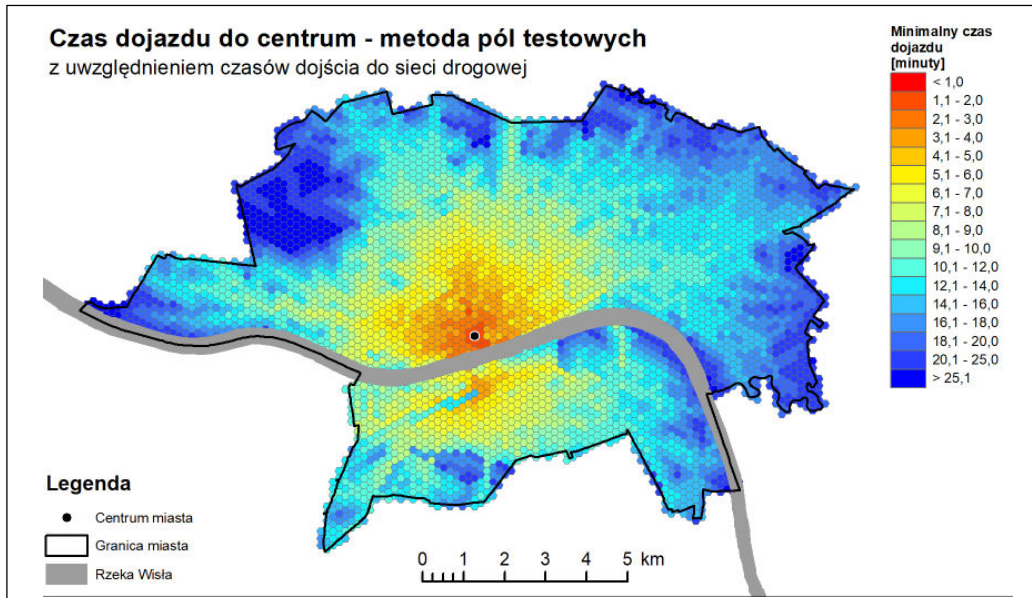
### Odległość od sieci drogowej

Jednym z problemów zastosowania gotowych narzędzi do analiz sieciowych jest fakt, iż nie uwzględniają one w swoich obliczeniach odległości pomiędzy punktem początkowym i docelowym, a najbliższymi dla nich elementami sieci drogowej. W przypadku metody siatek pól testowych problem ten dotyczy zwłaszcza punktów początkowych (centroidy poszczególnych pól), z uwagi na ich równomierne rozmieszczenie na badanym obszarze. W efekcie niektóre punkty początkowe zlokalizowane są w dużej odległości od publicznie dostępnej drogi. Obliczone dla nich czasy przejazdu nie uwzględniają tej odległości (rys. 11). Może więc zdarzyć się taka sytuacja, że dwa punkty początkowe (centroidy testowych heksagonów), różniące się istotnie oddaleniem od drogi, uzyskają identyczne lub bardzo zbliżone wartości czasu dojazdu do określonego obiektu. Wynikać to może z faktu, iż punkty te zostały zrzutowane na to samo miejsce na sieci drogowej.

W niniejszej pracy do wszystkich 9 339 070 tras obliczonych w narzędziu „OD Cost Matrix” dodane zostały czasy dotarcia do i z sieci drogowej (rys. 12). Zostały one obliczone jako czas przejścia z danego punktu do najbliższego segmentu drogi w linii prostej.



Rysunek 11. Dostępność do centrum miasta (metoda pól testowych)



**Rysunek 12.** Dostępność do centrum miasta (metoda pól testowych z czasem dotarcia do sieci drogowej)

### Obliczenie dostępności czasowej

Tak uzupełnione dane zostały następnie przetworzone za pomocą dedykowanego skryptu w języku Python, który umożliwił wybranie, dla każdego pola testowego, najbliższych POI w poszczególnych kategoriach. Dodatkowo, obliczono między innymi minimalny, średni i maksymalny czas dotarcia do POI w danej kategorii (tabela), a także liczbę POI dostępnych w określonych interwałach czasowych oraz liczbę unikalnych kategorii dostępnych w określonym czasie. Wskaźniki te pozwalają rozszerzyć analizę dostępności poza najczęściej stosowane kryterium minimalnego czasu dojazdu o wiele cennych informacji, świadczących o różnorodności i jakości dostępności.

### Porównanie z metodą izochronową

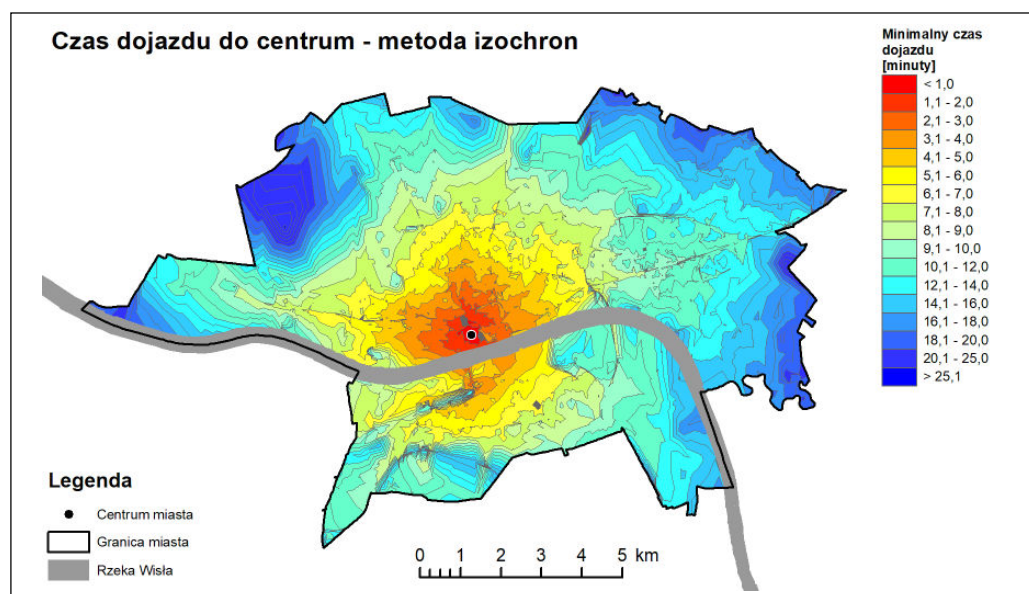
Następnie wykonano analizę dostępności dla wybranych kategorii za pomocą metody izochron (rys. 13). W tym celu wykorzystano ten sam zestaw danych sieciowych, który był podstawą analizy metodą pól odniesienia. Do wyznaczenia izochron oraz tak zwanych stref obsługi wykorzystano narzędzie „Service Area”, a następnie porównano z wynikami uzyskanymi za pomocą metody pól odniesienia. W tym celu dokonano klasyfikacji wartości poszczególnych pól do klas dostępności uzyskanych za pomocą metody izochronowej. Następnie obliczone zostały powierzchnie zajmowane przez dany zakres dostępności przestrzennej (rys. 14).

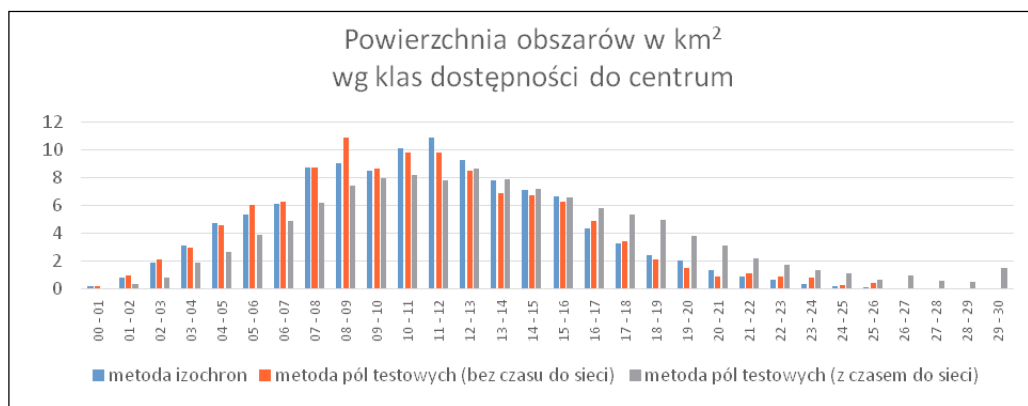
Ostatnim etapem pracy było wykonanie oceny przestrzennej rozbieżności pomiędzy wynikami uzyskanymi dwiema analizowanymi metodami (rys. 15). Poszczególnym polom odniesienia przypisano dwa czasy dotarcia do określonej kategorii POI obliczone dla ich centroid za pomocą: a) metody pól testowych z uwzględnieniem czasu dotarcia do sieci drogowej

**Tabela.** Minimalna, maksymalna i średnia dostępność czasowa wg kategorii POI

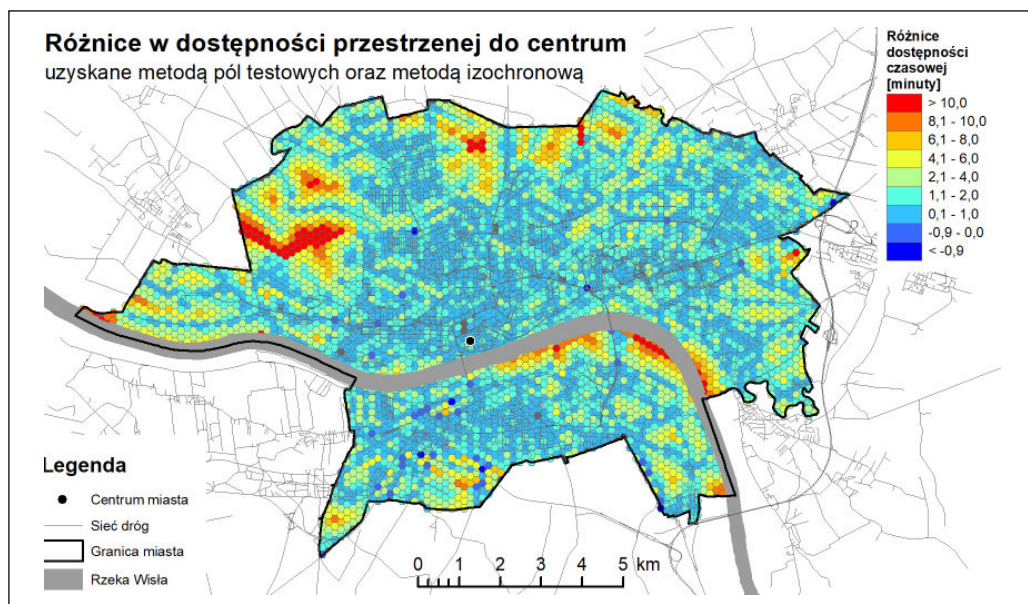
Kategoria POI	Liczba POI	Min.	Maks.	Średnia	Pozycja
Tereny zielone	1156	0,43	26,49	2,93	1
Przystanki komunikacji miejskiej	493	0,22	28,31	4,51	2
Przychodnie	35	0,63	29,64	7,08	3
Supermarkety	69	0,50	29,94	7,17	4
Boiska	82	0,66	29,89	7,23	5
Przedszkola	36	0,49	32,10	7,39	6
Szkoły podstawowe	24	0,60	33,11	7,53	7
Kościoły	22	0,76	29,83	7,85	8
Gimnazja	21	0,60	33,11	8,15	9
Baseny	12	1,00	36,00	9,69	10
Galerie handlowe	5	1,00	37,04	9,88	11
Licea	12	0,68	37,20	9,97	12
Muzea	12	0,53	36,28	10,38	13
Korty tenisowe	4	1,00	41,05	10,44	14
Kina	6	0,90	36,37	12,07	15
Centrum miasta	1	1,00	37,04	13,53	16

oraz b) metody izochronowej, w której do dalszych obliczeń przyjęto wartość średnią dla danej klasy dostępności, na przykład dla przedziału 10-11 minut do porównania przyjęto wartość 10,5. Różnica dodatnia wskazuje, że czas dotarcia dla danego heksagonu obliczony za pomocą metody pól testowych jest większy niż obliczony za pomocą metody izochronowej.

**Rysunek 13.** Dostępność do centrum miasta (metoda izochron)



**Rysunek 14.** Powierzchnia obszarów według klas dostępności do centrum



**Rysunek 15.** Rozkład przestrzenny różnic pomiędzy metodą pól testowych i izochronami

Analiza wyników pozwoliła stwierdzić, że metoda izochron prowadzi do zaniżenia czasów dojazdu, a tym samym zawyżania wartości dostępności czasowej. Najwyższe wartości odległości czasowej do centrum miasta uzyskano metodą pól testowych uwzględniającą czas dotarcia do sieci drogowej. Jednocześnie największe rozbieżności pomiędzy uzyskiwanymi wynikami dotyczą obszarów o małej gęstości sieci drogowej. W świetle tych wyników wydaje się, że stosowanie metody izochronowej powinno być poprzedzane analizą układu drogowego, a zwłaszcza gęstości sieci drogowej. Zbyt duże odległości od sieci drogowej (np. wynikające z uwzględnienia w analizie tylko dróg głównych) mogą bowiem prowadzić do istotnego zaburzenia (zaniżenia) czasów dojazdu.



## Wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że metody oparte na izochronach mogą prowadzić do zawyżania wartości dostępności przestrzennej. Wiąże się to przede wszystkim ze sposobem ich interpolacji, w którym pomijana jest odległość od sieci drogowej. Należy podkreślić, iż wpływ na uzyskany kształt izochron mogą mieć różne parametry analizy, które uzależnione są od przyjętego narzędzia i algorytmu, dlatego też wskazane byłoby przeprowadzenie dalszych badań w tym zakresie. Zastosowanie metody pół odniesienia pozwala skorygować uzyskane czasy dojazdu o czas potrzebny na dotarcie z punktu początkowego do najbliższego punktu na sieci drogowej. Metoda pół odniesienia pozwala elastycznie dostosowywać przestrzenną szczegółowość badania przez odpowiedni dobór kształtu i rozmiaru pola odniesienia. W efekcie zastosowanie odpowiednio małych pól odniesienia pozwala uchwycić płynne zmiany dostępności czasowej, bez konieczności interpolacji czasów dojazdu, co może być szczególnie istotne w obszarach o niskiej gęstości sieci drogowej. Obliczenie czasów dojazdu pomiędzy wszystkimi punktami początkowymi i docelowymi pozwala uzyskać zbiór wyników, na podstawie którego w sposób zautomatyzowany (np. za pomocą języka Python lub SQL) można obliczyć dodatkowe wskaźniki dostępności, takie jak: liczba obiektów dostępnych w określonym czasie, liczba unikalnych kategorii obiektów dostępnych w określonym czasie. Jednocześnie metoda pół odniesienia pozwala opisać dostępność przestrzenną za pomocą wartości bezwzględnych (czas dojazdu w minutach), w przeciwieństwie do metody izochron, w wyniku której uzyskuje się obszary o dostępności określonej za pomocą przedziałów czasowych. Wartości bezwzględne mogą być bezpośrednio porównywane i analizowane wraz z innymi danymi o charakterze bezwzględnym, na przykład danymi o rozmieszczeniu ludności udostępnianymi przez Główny Urząd Statystyczny w siatkach kilometrowych. Przeprowadzone badania wykazały także, że dane OSM mogą być z powodzeniem stosowane do badania dostępności, umożliwiają bowiem zbudowanie topologicznego modelu sieci drogowej. Atrybuty poszczególnych odcinków dróg dostępne w bazie OSM (np. maksymalna dopuszczalna prędkość bądź kategoria drogi) pozwalają dokładniej zamodelować optymalne trasy przemieszczania się.

**Podziękowania.** Autor dziękuje dwóm anonimowym recenzentom za cenne wskazówki.

**Finansowanie.** Projekt naukowy oraz niniejsza publikacja zostały sfinansowane z funduszu badań statutowych Katedry Geomatyki i Kartografii, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu.

## Literatura (References)

- AccessAdvisr, 2017: <https://accessadvisr.net/>
- Balfour Reuben, Allen Jessica, 2014: Local action on health inequalities: Improving access to green spaces. Public Health England, UCL Institute of Health Equity.
- Bielecka Elżbieta, Filipczak Anna, 2010: Zasady opracowywania map dostępności (Principals of elaborating accessibility maps). *Roczniki Geomatyki* 8 (6): 29-39, Warszawa, PTIP.
- Chiesura Anna, 2004: The Role of Urban Parks for the Sustainable City. *Landscape and Urban Planning* 68 (1): 129-38. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.08.003>
- Comber, Alexis, Brunsdon Chris, Green Edmund, 2008: Using a GIS-based network analysis to determine urban greenspace accessibility for different ethnic and religious groups. *Landscape and Urban Planning* 86 (1): 103-114.

- Delamater Paul L., 2013: Spatial Accessibility in Suboptimally Configured Health Care Systems: A Modified Two-Step Floating Catchment Area (M2SFCA) Metric. *Health & Place* 24 (listopad): 30-43. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2013.07.012>.
- Dominiak Joanna, 2015: Dostępność usług publicznych na terenie województwa wielkopolskiego (Accessibility to public services in the wielkopolska Voivodship). <http://www.umww.pl/attachments/article/11578/1.Dost%C4%99pno%C5%9B%C4%87%20us%C5%82ug%20publicznych%20na%20terenie%20wojew%C3%B3dztwa%20wielkopolskiego.pdf>
- Florczak Maciej, 2013: GIS jako narzędzie badania dostępności przestrzennej transportu zbiorowego (GIS as an tool in analysis of spatial accessibility of the public transport system). *Transport Miejski i Regionalny* 5: 22-27.
- Galton Francis, 1881: On the construction of isochronic passage charts. *Proceedings of the Royal Geographical Society* 3: 657-658.
- General Transit Feed Specification – Wikipedia, 2017: 24.06.2017. [https://en.wikipedia.org/wiki/General\\_Transit\\_Feed\\_Specification](https://en.wikipedia.org/wiki/General_Transit_Feed_Specification)
- Google Maps Distance Matrix API, b.d.: Google Developers. 2.08.2017. <https://developers.google.com/maps/documentation/distance-matrix/>
- Guzik Robert, 2003a: Interpretacja przestrzennej dostępności szkół ponadpodstawowych w oparciu o metodę ilorazu potencjałów (Interpretation of spatial accessibility of secondary schools basing on the potential quotient method). [W:] Problemy interpretacji wyników metod badawczych stosowanych w geografii społeczno-ekonomicznej i gospodarce przestrzennej: 101–110. Poznań, Wydawnictwo Naukowe Bogucki.
- Guzik Robert, 2003b: Przestrzenna dostępność szkolnictwa ponadpodstawowego (Spatial accessibility of secondary schools). Kraków, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego.
- Komornicki Tomasz, Śleszyński Przemysław, Pomianowski Wojciech, Rosik Piotr, Siłka Piotr, Stępiak Marcin, 2008: Opracowanie metodologii liczenia wskaźnika międzygałęzowej dostępności transportowej terytorium Polski oraz jego oszacowanie (Devising a methodology for calculating the indicator of intermodal transport accessibility for the territory of Poland, as well as making its assessment). Warszawa, IGiPZ PAN, Google Scholar. [http://www.pois.gov.pl/AnalizyRaportyPodsumowania/Documents/2009.01.22\\_wskaznik\\_dostepnosi\\_POiS\\_opis.pdf](http://www.pois.gov.pl/AnalizyRaportyPodsumowania/Documents/2009.01.22_wskaznik_dostepnosi_POiS_opis.pdf)
- Langford Mitchel, Higgs Gary, Fry Richard, 2016: Multi-Modal Two-Step Floating Catchment Area Analysis of Primary Health Care Accessibility. *Health & Place* 38 (march): 70-81. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2015.11.007>
- Lee Gyoungju, Hong Ilyoung, 2013: Measuring Spatial Accessibility in the Context of Spatial Disparity between Demand and Supply of Urban Park Service. *Landscape and Urban Planning* 119 (november): 85-90. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.07.001>
- Lijewski Teofil, 1985: Układy komunikacyjne województw (Communication systems in voivodships). Dokumentacja Geograficzna, Warszawa, IGiPZ PAN.
- Lovett Andrew, Haynes Robin, Sünnerberg Gisela, Gale S., 2002: Car travel time and accessibility by bus to general practitioner services: a study using patient registers and GIS. *Social Science & Medicine* 55 (1): 97-111.
- Luo Wei, Qi Yi, 2009: An Enhanced Two-Step Floating Catchment Area (E2SFCA) Method for Measuring Spatial Accessibility to Primary Care Physicians. *Health & Place* 15 (4): 1100-1107. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2009.06.002>
- Luo Wei, Wang Fahui, 2003: Measures of Spatial Accessibility to Health Care in a GIS Environment: Synthesis and a Case Study in the Chicago Region. *Environment and Planning B: Planning and Design* 30 (6): 865-84. <https://doi.org/10.1068/b29120>
- Mapumental | mySociety, 2015: <https://mapumental.com/>
- McGrail Matthew R., Humphreys John S., 2014: Measuring Spatial Accessibility to Primary Health Care Services: Utilising Dynamic Catchment Sizes. *Applied Geography* 54 (october): 182-88. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.08.005>
- Michniewicz-Ankiersztajn Hanna, 2014: Rola zieleni w kształtowaniu przestrzeni miast europejskich w kontekście jakości życia ich mieszkańców (The role of green areas in European cities' spaces in the context of the quality of life of inhabitants). <https://doi.org/10.5281/zenodo.13264>

- Nelson Andrew, 2008: Estimated travel time to the nearest city of 50,000 or more people in year 2000. Global Environment Monitoring Unit – Joint Research Centre of the European Commission, Ispra Italy. <http://forobs.jrc.ec.europa.eu/products/gam/>
- Nowe dane demograficzne w siatkach kilometrowych dostępne w formacie shp - Start - Portal Geostaty styczny (New demographic data in 1-kilometre grids in the shp format - Start - Geostatistical Portal), b.d.: 2.08.2017. [https://geo.stat.gov.pl/start/-/asset\\_publisher/jNfJiIujcyRp/content/id/45261](https://geo.stat.gov.pl/start/-/asset_publisher/jNfJiIujcyRp/content/id/45261)
- OD cost matrix analysis-Help|ArcGIS Desktop, b.d.: 2.08.2017. <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/network-analyst/od-cost-matrix.htm>
- Oh Kyushik, Jeong Seunghyun, 2007: Assessing the spatial distribution of urban parks using GIS. *Landscape and urban planning* 82 (1-2): 25-32.
- OSRM API Documentation, b.d.: 2.08.2017. <http://project-osrm.org/docs/v5.9.1/api/#table-service>
- Peng Zhong-Ren, 1997: The Jobs-Housing Balance and Urban Commuting. *Urban Studies* 34 (8): 1215-1235. <https://doi.org/10.1080/0042098975600>
- Pietrusiewicz Witold, 1996: Problemy metodyczne opracowywania map dostępności czasowej (Methodological issues related to development of time accessibility maps). *Polski Przegląd Kartograficzny* 28 (2): 87-99.
- Stepniak Marcin, 2013: Wykorzystanie metody 2SFCA w badaniach dostępności przestrzennej usług medycznych (The application of the two-step floating catchment area method to the studies of accessibility of healthcare services). *Przegląd Geograficzny* 85 (2): 199-218. <https://doi.org/10.7163/PrzG.2013.2.3>
- Tyrväinen Liisa, Mäkinen Kirsi, Schipperijn Jasper, 2007: Tools for Mapping Social Values of Urban Woodlands and Other Green Areas. *Landscape and Urban Planning* 79 (1): 5-19. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.03.003>
- Wielebski Łukasz, 2013: Wizualizacja kartograficzna dostępności czasowej dla służb ratowniczych (Cartographic visualisation of time accessibility for rescue services). [W:] *Pragmatyka w kartografii, Prace i studia kartograficzne* 4: 151-62.
- Zhu Xuan, Liu Suxia, 2004: Analysis of the impact of the MRT system on accessibility in Singapore using an integrated GIS tool. *Journal of Transport Geography* 12 (2): 89-101.
- Zhu Xuan, Liu Suxia, Yeow Mun-Ching, 2006a: A GIS-based multi-criteria analysis approach to accessibility analysis for housing development in Singapore. Retrieved Oct.
- Zhu Xuan, Liu Suxia, Yeow Mun-Ching, 2006b: Accessibility analysis for housing development in Singapore with GIS and multi-criteria analysis methods. *Applied GIS* 2 (2): 13.1-13.2.

### **Streszczenie**

*Zapewnienie odpowiedniej dostępności przestrzennej do podstawowych usług oraz ocena tego poziomu stają się coraz istotniejszymi wyzwaniami współczesnych miast i regionów. Niezbędne są zatem odpowiednie metody kompleksowej oceny zjawiska dostępności, narzędzia do jej symulacji i modelowania, a także systemy pozwalające lokalnym władzom, jak również mieszkańcom, wykorzystać zdobytą wiedzę do podejmowania optymalnych decyzji przestrzennych, na przykład decyzji dotyczących lokalizacji nowych inwestycji lub prowadzenia świadomej polityki przestrzennej. Niniejszy artykuł ma na celu ocenę wybranych metod analizy dostępności przestrzennej i ich wpływu na uzyskiwane wyniki czasów dojazdu. Porównaniu poddano metodę izochron (stref obsługi) oraz metodę pól odniesienia. Obie metody zastosowano do oceny dostępności wybranych obiektów użyteczności publicznej w Toruniu.*

### **Abstract**

*Ensuring adequate spatial accessibility to primary services and its assessment are becoming increasingly important challenges for modern cities and regions. Appropriate methods for comprehensive accessibility assessment, tools for simulation and modelling, as well as systems that allow local authorities and residents to use their knowledge to make informed spatial decisions (e.g. location-based decisions or spatial development policies) are essential.*



*This paper aims to evaluate selected methods of spatial accessibility analysis and their impact on calculated travel times. The results obtained from the isochrone map and the hexagonal sampling grid method were compared. Both methods were applied for the analysis of spatial accessibility to selected public amenities in Toruń.*

Dane autora / Autor details:

dr Jan Burdziej  
<https://orcid.org/0000-0001-6740-0525>  
[jan.burdziej@umk.pl](mailto:jan.burdziej@umk.pl)

Przesłano / Received 22.08.2017  
Zaakceptowano / Accepted 3.07.2018  
Opublikowano / Published 16.08.2018