

Dostępność komunikacyjna w analizach sieciowych w przestrzeniach heterogenicznych

Communication availability in network analysis
in heterogeneous spaces

Elżbieta Lewandowicz, Paweł Flisek

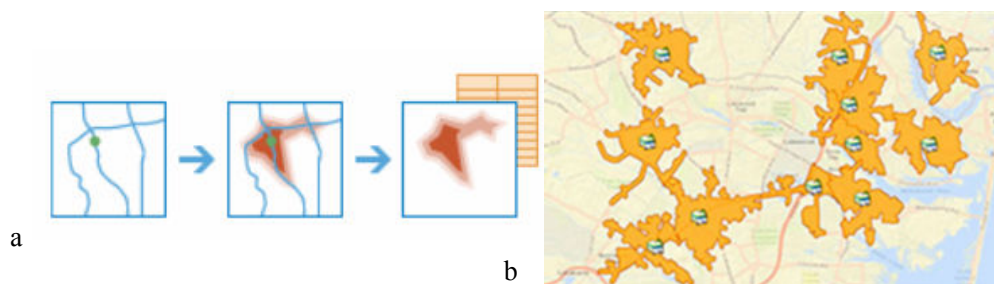
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Geodezji, Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa
Instytut Geoinformacji i Kartografii

Słowa kluczowe: GIS, analizy sieciowe, obszar obsługiwany, bariery przestrzenne

Keywords: GIS, network analysis, service area, spatial barriers

Wprowadzenie

Sieciowe narzędzia analityczne w GIS oferują wiele możliwości związanych z optymalizacją ruchu drogowego, oceną lokalizacji obiektów, a także są pomocne przy rozwiązywaniu innych problemów komunikacyjnych (AutoDesk, 2017; QGIS, 2017; GRASS, 2017; Esri, 2017). Narzędzie sieciowe związane z określeniem obszaru obsługiwanego (Cichociński, Dębińska, 2012) (obszaru dostępności, obszaru oddziaływania, dostępności komunikacyjnej) określa obszar, który jest dostępny (Burdziej, 2016) z przyjętego punktu bazowego, w określonych parametrach, na przykład: czasie, odległości lub kosztach. Rozwiązanie polega na zbudowaniu grafowego modelu sieci, na przykład drogowej, i wyznaczeniu najkrótszych dróg w sieci, od punktu bazowego po określonych kosztach. Tworzy się tak zwane drzewo rozpinające (Kulikowski, 1986) zwane także rozplywem w sieci. W oparciu o krawędzie wyznaczonego drzewa rozpinającego tworzona jest nowa struktura danych TIN. Sieć TIN przyjmuje wagi, które wynikają z odległości w sieci od punktu bazowego. Jest ona podstawą do generowania obszaru obsługiwanego. Wyniki użycia narzędzia analitycznego do wyznaczenia obszaru obsługiwanego zaprezentowano na rysunku 1. Znajduje ono zastosowanie w wielu zadaniach optymalizacyjnych. Umożliwia także wyznaczenie obszarów obsługiwanych, powstałych z wielu punktów bazowych (rys. 1b). Tym samym, końcowy obszar obsługiwany jest wynikiem nałożenia wielu modeli (rozplywów w sieci) lub wyznaczonych obszarów obsługiwanych z wielu punktów bazowych. Narzędzia tego używa się do określania dostępności czasowej, przykładowo w służbach pożarniczych, w ratownictwie medycznym (Ogrodniczak, Ryba, 2016; Gadziński, Beim, Majewski, 2011) i innych zastosowaniach (Charlton i in., 2017; Edward, Biddle, 2016; Lim, Koo, 2016; Babiker, Abuelwafaa, 2017), gdy istnieje więcej punktów bazowych, (rys. 1b), na przykład wiele jednostek straży pożarnej o różnej lokalizacji.

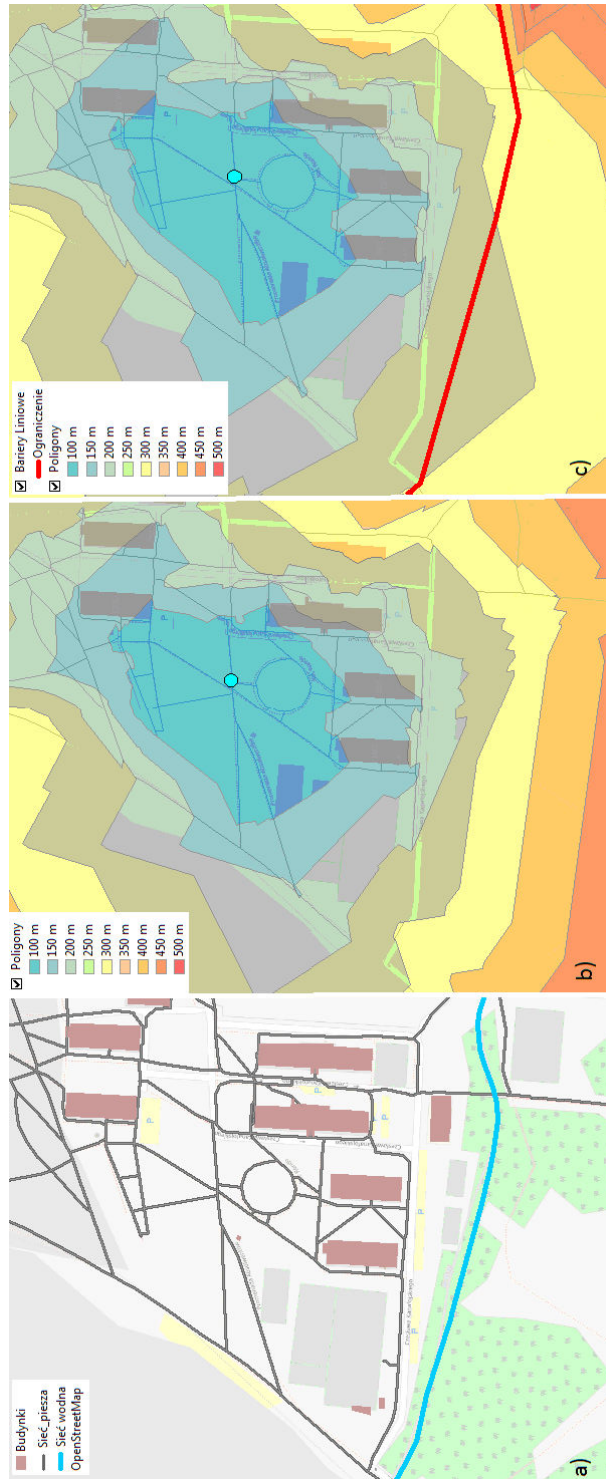


Rysunek 1. Obszar obsługiwany wyznaczany w oparciu o analizy sieciowe: a – diagram procedury wyznaczania obszaru, b – obszar obsługiwany uzyskany z analizy, w której uwzględniono wiele punktów bazowych, (źródło: Esri; <http://doc.arcgis.com/pl/arcgis-online/use-maps/create-drive-time-areas.htm> <http://www.esri.com/software/arcgis/extensions/networkanalyst>)

W algorytmie budowy obszaru obsługiwanego przyjmuje się teren między drogami jako homogeniczny. Nie uwzględnia się barier przestrzennych, na przykład koryt rzek, sieci torów kolejowych, które zwykle uniemożliwiają przejazd, przejście. Wynika to z tego, że siatkę TIN buduje się tylko na krawędziach sieci drogowej. W efekcie zdarza się, że wyznaczony jednorodny obszar obsługiwany w określonym koszcie, przecinany jest rzeką, torami kolejowymi, które jak wiadomo, uniemożliwiają przejście (rys. 2). Takie podejście wiąże się z uproszczeniem danych wejściowych do analiz, a otrzymane wyniki często nie odzwierciedlają rzeczywistej sytuacji. Przyjmując, że obszary w otoczeniu dróg są heterogeniczne, że istniejące bariery powodują niemożliwość przemieszczania się, należy wprowadzić modyfikacje w metodyce procesu analitycznego. Narzędzia GIS (Esri, 2017), proponują realizację analizy z uwzględnieniem barier punktowych, liniowych i powierzchniowych. Są one uwzględniane w modelu sieci poprzez wykluczenia lub ograniczenia przepływu w wybranych elementach sieci. Wpływają na wyniki analiz sieciowych najkrótszej drogi, rozplywu, określenia obszarów obsługiwanych. Należy jednak zauważyć, że pomimo uwzględnienia barier, w wyniku otrzymuje się poligony obszaru obsługiwanego przecinające bariery (rys. 2c). Wynika to z tego, że bariery nie są uwzględniane przy wyznaczeniu obszarów obsługiwanych. Nie stanowią granicy poligonów obszarów obsługiwanych. Tym samym uzyskane wyniki, analiz proponowanych przez narzędzia Esri, nie spełniły oczekiwań autorów i były przyczynkiem do poszukiwania własnego rozwiązania.

Cel pracy

Celem artykułu jest propozycja metodyki analitycznej związanej z określeniem obszarów obsługiwanych, przez uwzględnienie istnienia barier liniowych w badanej przestrzeni. Metodyka realizacji wiąże się z określeniem podobszarów homogenicznych, w oparciu o podział przestrzeni barierami liniowymi. Przyjęto, że barierami będą na przykład rzeki i linie kolejowe, które trwale dzielą obszary gmin lub miast na oddzielne podobszary, niezależnie funkcjonujące z powodu istniejących ograniczeń. Mosty i wiadukty łączą wydzielone podobszary. Liczba ich determinuje jakość powiązań podobszarów i ich stopień zależności. Wyodrębniając podobszary, wyróżniono obszar bazowy i podobszary bezpośrednio i pośrednio z nim związane. Wyniki analiz wykonanych w tych podobszarach są łączone i stanowią końcowe



Rysunek 2. Obszar obsługiwany uzyskany z analizy, z uwzględnieniem progów odległości:

- a – dane wejściowe do analizy (rzeka wskazująca na heterogeniczność przestrzeni),
- b – wynik analizy przy przyjęciu homogeniczności terenu między elementami sieci,
- c – obszar obsługiwany wyznaczony z uwzględnieniem rzeki jako bariery liniowej, przy wykorzystaniu standardowych narzędzi analizy

rozwiązanie. Metodyka przyjętej analizy została szczegółowo opisana w kolejnym rozdziale. Sieć drogowa zwykle zachowuje ciągłość. Ta ciągłość pozwala na wyznaczenie obszaru obsługiwanego metodami klasycznymi, proponowanymi przez narzędzia GIS. Wyniki analiz, wykonanych tymi narzędziami oraz własną metodyką, stanowią podstawę do oceny i weryfikacji prezentowanego rozwiązania.

Metodyka

Realizując cel pracy, przyjęto wykonać analizy, zgodnie z propozycją oprogramowania (Esri 2014), wyznaczając obszar obsługiwany na testowym obiekcie na podstawie sieci drogowej, od zadanego punktu P^B . W pierwszej kolejności, wyznaczono obszar obsługiwany, bez definiowania barier przestrzennych. Wynik takiej analizy oznaczymy jako obszar obsługiwany, wykonany metodą standardową – O^S . Drugą analizę wykonano, zgodnie z sugestiami narzędziami Esri, z uwzględnieniem barier przestrzennych. Przyjmijmy, że wynik tej metodyki określimy jako – O^{SB} (Esri, 2014). Dodatkowo wykonano trzecią analizę, w oparciu o metodykę autorską, szczegółowo opisaną poniżej, która w wyniku, daje obszar obsługiwany, oznaczony jako O^A . Przedstawienie, porównanie i omówienie trzech wyników O^S , O^{SB} , O^A , otrzymanych różnymi metodami, stanowi istotę podjętej pracy badawczej.

Metodyka wyznaczenia obszaru obsługiwanego O^S i O^{SB} jest szczegółowo opisana w literaturze (Esri, 2017). Poniżej zostanie tylko wyjaśniona własna metodyka badawcza wyznaczenia O^A .

Główne założenia przyjętej metodyki wyznaczenia O^A opierają się na tym, że obszar badań A jest heterogeniczny. Istniejące obiekty – rzeki, tory kolejowe, stanowią bariery liniowe (L_i). Dzielą one obszary A (miast, gmin), na tereny często oddzielnie funkcjonujące A_i . Sieć drogowa (S), dzięki mostom i wiaduktom, zachowuje ciągłość. Uwzględniając bariery liniowe L_i , należy wykonać podział obszaru badanego obiektu A na homogeniczne podobszary A_i , gdzie i to liczba wyodrębnionych podobszarów (1), (2). Każdy obszar A_i ma określone wnętrze A_i^o oraz granicę δA_i (3).

$$A \cap L_i \Rightarrow A = \{A_1, A_2, A_3, \dots, A_i\} \quad (1)$$

$$A_i \subset A \quad (2)$$

$$A_i = \{A_i^o + \delta A_i\} \quad (3)$$

Wyznaczając obszar obsługiwany musimy przyjąć punkt bazowy P w sieci S . Wyznacza on miejsce, od którego określany jest rozptył w drzewie rozpinającym grafu sieci drogowej, w celu określenia obszaru obsługiwanego. Przyjęto, że lokalizacja punktu P stanowi podstawę do określenia obszaru bazowego A_{iB} (4). Jest to jeden z określonych podobszarów A_i (5, 6)

$$P \in A_{iB} \quad (4)$$

jesli

$$P \cap A_i \neq \emptyset \Rightarrow A_i = A_{iB} \quad (5)$$

$$A_{iB} \subset A \quad (6)$$

Podobszary wydzielone za pomocą barier przestrzennych połączone są mostami M_i (mostami nazwano ogólnie mosty i wiadukty). Mostem są punkty (7) leżące na granicy podobszarów i będące częścią wspólną sieci drogowej S i granic podobszarów δA_i .

$$M = \{M_1, M_2, \dots, M_i\} \quad (7)$$

$$\{M_i\} = S \times \{\delta A_i\} \quad (8)$$

Każdemu mostowi M_i można przypisać wagę W_i (9), która jest równa długości minimalnej drogi z punktu bazowego P do M_i , w sieci S .

$$W_i = \text{droga}_{\min}(P \rightarrow M_i) \quad (9)$$

Wśród podobszarów $A_i \neq A_{iB}$, wyróżniono podobszary pierwszego sąsiedztwa A_i^1 oraz obszary kolejnego sąsiedztwa A_i^l . Obszary A_i^1 mają wspólną granicę z obszarem A_{iB} (10, 11).

$$A_i \in \{A_i^1\} \quad (10)$$

jesli

$$A_i \times A_{iB} \neq \emptyset \quad (11)$$

Analogicznie, obszary są zaliczane do zbiorów obszarów drugiego sąsiedztwa $\{A_2^i\}$, jeśli mają wspólną granicę z obszarami pierwszego sąsiedztwa $\{A_1^i\}$, ale nie mają wspólnej granicy z obszarem bazowym A_{iB} (12).

$$\{A_2^i\} = (A_i - \{A_i^1, A_{iB}\}) \times A_i^1 = \emptyset \quad (12)$$

W podzbiorach A_i wyznaczamy obszary obsługiwane O_i . Z tym, że w A_{iB} szukamy obszaru obsługiwanego O_{iB} od punktu P . W podzbiorach pierwszego stopnia sąsiedztwa $\{A_1^i\}$ wyznaczamy obszary obsługiwane robocze O_{ik}^r , w oparciu w mosty $\{M_i^1\}$ (13), które łączą obszar bazowy A_{iB} z wybranym podzbiorem $\{A_i^1\}$.

$$M_i^1 = S \times (\delta A_{iB} \times \delta A_i^1) \quad (13)$$

Jeśli podobszar A_i^1 łączy się z obszarem bazowym kilkoma (k) mostami, to wyznaczamy k obszarów obsługiwania O_{ik}^r , przyjmując po kolei każdy most jako punkt bazowy. Każdy obszar obsługiwany, utworzony z mostu $k - O_{ik}^r$, przekształcamy na zbiory rastrowe, z przypisaną każdemu pikselowi wartością odległości $W_{O_{ik}^r}$. Wartości odległości $W_{O_{ik}^r}$ przypisane w zbiorach rastrowych O_{ik}^r , modyfikujemy o wagę mostu W_{ik} (14). Dodajemy wartości wagi mostu do wag elementów (pikseli) obszaru obsługiwanego (15). Jest to konieczny zabieg, uwzględniający w wyznaczanych podobszarach O_{ik}^r , drogę dojazdu z punktu bazowego do mostu. Mając k roboczych zmodyfikowanych obszarów obsługiwania O_{ik}^r , wyznaczamy jeden O_i . Scalanie O_{ik}^r w O_i polega na tym, że każdej komórce rastra O_{ik}^r przypisujemy minimalną wartość (wartość kosztów) (16), z k roboczych modeli zmodyfikowanych O_{ik}^r .

$$O_{ik}^r \rightarrow O_{ik}^{rwi} \quad (14)$$

$$V_{k=1}^k W_{O_{ik}^r} = W_{O_{ik}^r} + W_{ik} \quad (15)$$

$$W_{O_i} = \min W \{O_{ik}^{rwi}\} \quad (16)$$

Analogicznie wyznaczamy obszary obsługiwane O_{ik}^r , dla podobszarów drugiego stopnia sąsiedztwa A_i^2 . Tym razem za punkty bazowe przyjmujemy mosty łączące obszary A_i^1 i A_i^2 . Uwzględniamy wagi mostów (9), przy wyznaczaniu O_{ik}^{rwi} . Przedstawioną metodykę wyznaczania O_i powtarzamy w kolejnych podzbiorach $A_i^{n^k}$ dla $n > 1$. Wynikowy obszar obsługiwania O^A , z punktu P dla badanego obiektu A , jest szczególną sumą wartości obszarów cząstkowych O_i , zapisanych w postaci rastrowej (17).

$$O^A = \Sigma O_i \quad (17)$$

Tym samym wynikowy obraz O^A jest także określony za pomocą danych rastrowych O^A .

Wynik analizy O^A , otrzymany w oparciu o własną metodykę O^A , porównano z wynikami O^S , O^{SB} , uzyskanymi z klasycznych narzędzi analitycznych Esri.

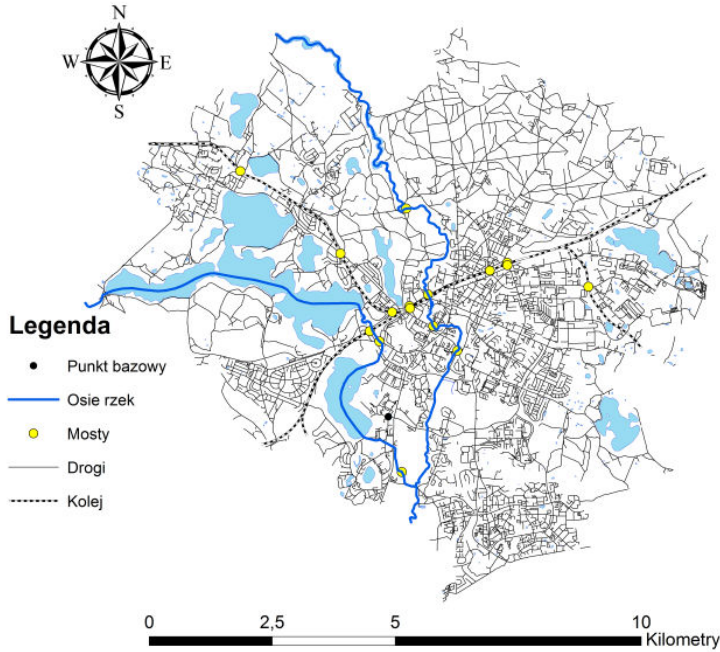
Obszar badań

Zaproponowana metodyka wyznaczenia obszaru obsługiwanego, z uwzględnieniem barier liniowych (torów kolejowych, rzek), została sprawdzona i zweryfikowana w oparciu o przejęty obszar badań (O). Jest nim miasto Olsztyn, z określoną siecią dróg S (OT_SKDR_L) i wybranymi obiektami: sieci wodnej (OT_SWRS_L) i kolejowej (OT_SKTR_L), przyjętymi za bariery liniowe L , dzielące miasto na podobszary (rys. 3). Dane pozyskano z Bazy Danych Obiektów Topograficznych, w skali 1:10 000 (BDOT10k), otrzymanych na licencja nr IG-WODGIK.7522.125.2015_28_N. W podjętym badaniu, przyjęto określić dostępność komunikacyjną Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie (UWM), wyznaczając obszar (obszar obsługiwany) od przyjętego punktu (bazowego), zlokalizowanego na terenie uczelni, do granic miasta.

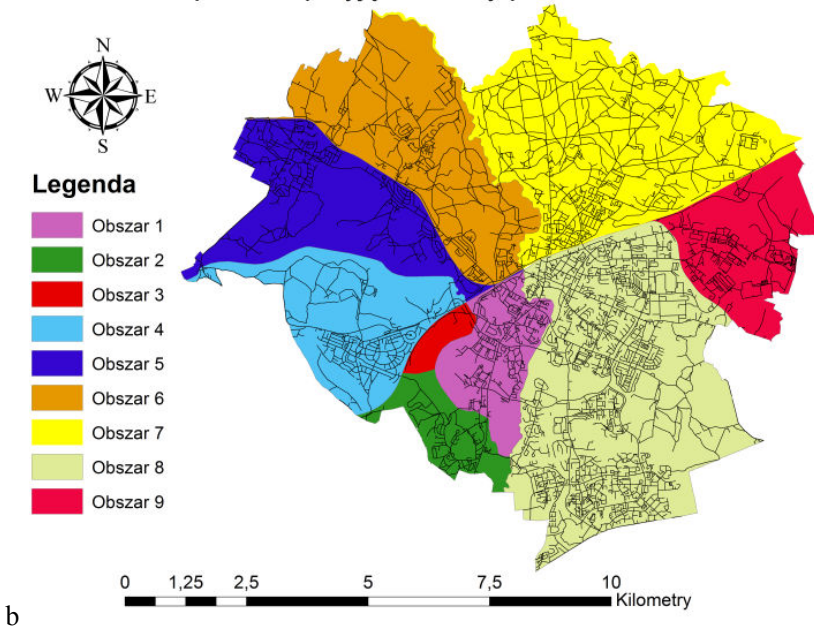
W pierwszej analizie założono, że miasto jest obszarem homogenicznym, że jednorodna sieć drogowa jest podstawą wyznaczenia obszaru obsługiwanego. Wynik badań przedstawiono w wersji graficznej, jako opracowanie kartograficzne (rys. 4a). W drugiej analizie przyjęto uwzględnić sieć wodną i kolejową jako bariery przestrzenne, które zmieniły model sieci, wprowadzając ograniczenia w niektórych elementach, tym samym wpływając na wyznaczenie obszaru dostępności. Wyniki pokazane na rysunku 4b, uzyskano korzystając z narzędzi ArcGIS – obszar obsługiwany z uwzględnieniem barier liniowych. W trzeciej analizie zastosowano własną metodykę badań, przyjmując obszar miasta jako przestrzeń heterogeniczną. Analizy wykonano w oparciu o zaproponowaną procedurę, szczegółowo opisaną i uzupełnioną wzorami (1-16). Wyniki zaprezentowano na rysunku 4c.

Oceny wyników można dokonać metodą wzrokową. Poligony obszaru obsługiwanego, uzyskane z realizacji pierwszej analizy O^S , rozchodzą się prawie promieniście od punktu bazowego (rys. 4a). W wyniku drugiej analizy O^{SB} , wyraźnie widać zmiany granic poligonów obszarów obsługiwanych w południowej linii koryta rzeki Łyny i wschodnim odcinku linii kolejowej (rys. 4b i 5a). Szczegółowa analiza zmiany modelu sieci drogowej, po wpro-

Obiekt badań z widocznymi barierami przestrzennymi i mostami

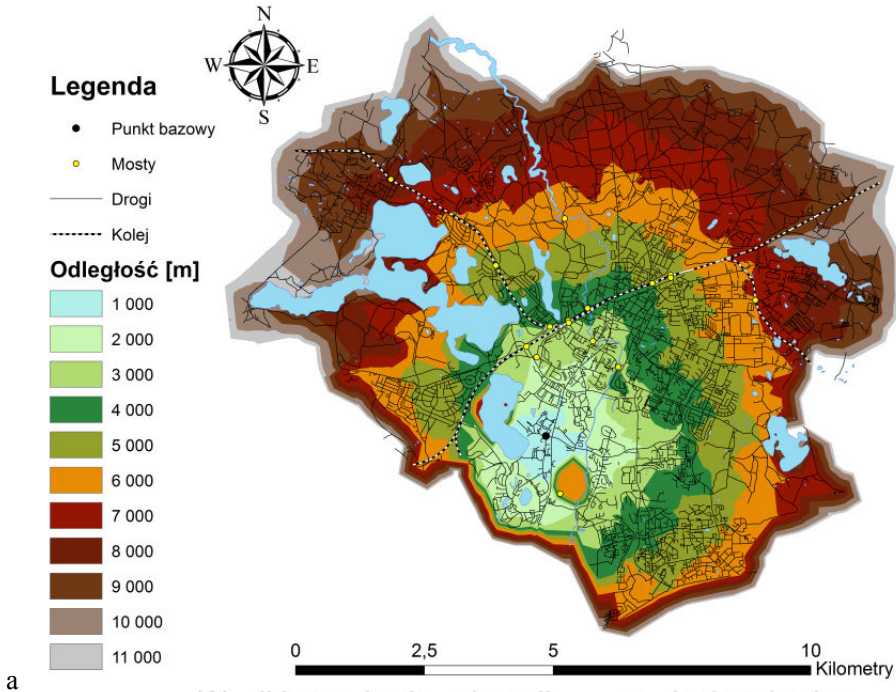


Obiekt badań z wydzielonymi podobszarami w oparciu o przyjęte bariery przestrzenne

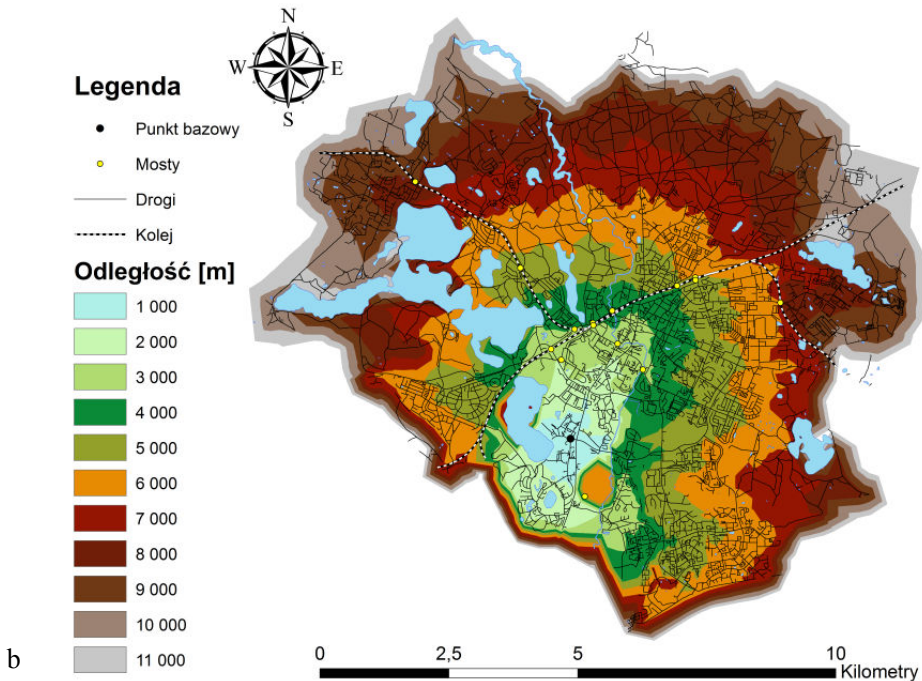


Rysunek 3. Miasto Olsztyn jako obiekt badań: a – dane wyjściowe z prezentacją barier przestrzennych, związanych z siecią kolejową i wodną, b – wydodrężnione podobszary badań

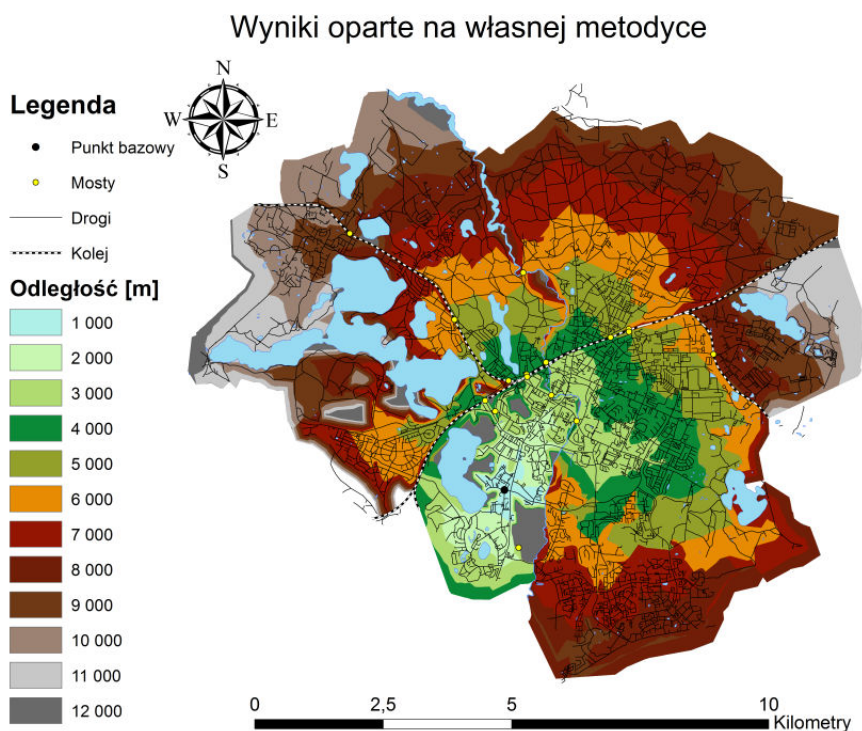
Wyniki standardowej analizy bez przyjęcia barier



Wyniki standardowej analizy z przyjęciem barier



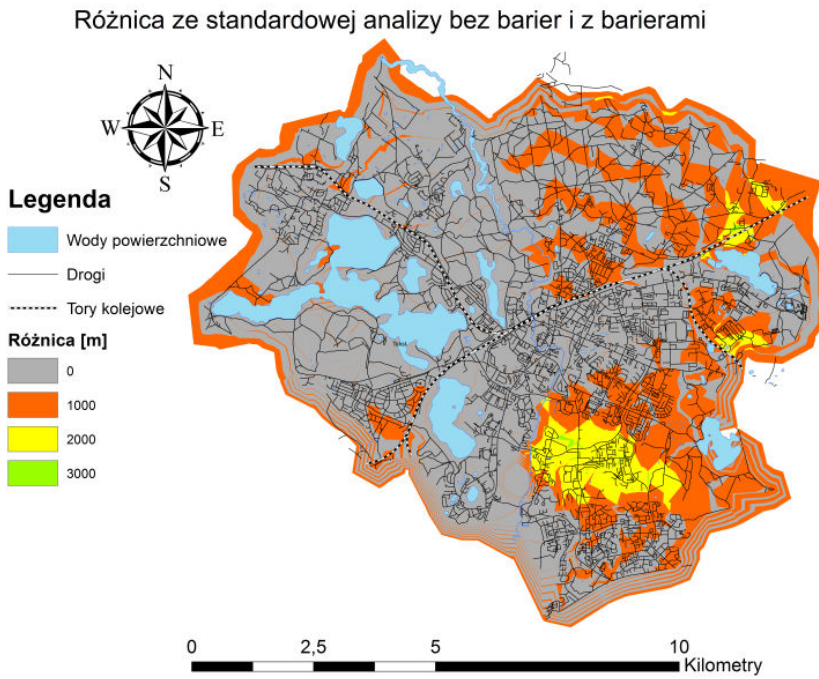
Rysunek 4. Wizualizacja obszarów obsługiwanych, otrzymanych przy różnej metodyce analitycznej:
 a – O^S wyznaczony z wykorzystaniem narzędzi Esri, bez uwzględnienia barier,
 b – O^{SB} otrzymany z wykorzystaniem narzędzi Esri, z uwzględnieniem barier liniowych



cd. rysunku 4: c – O^4 wyznaczony z wykorzystaniem własnej metodyki analitycznej, z podziałem obiektu na podobszary homogeniczne

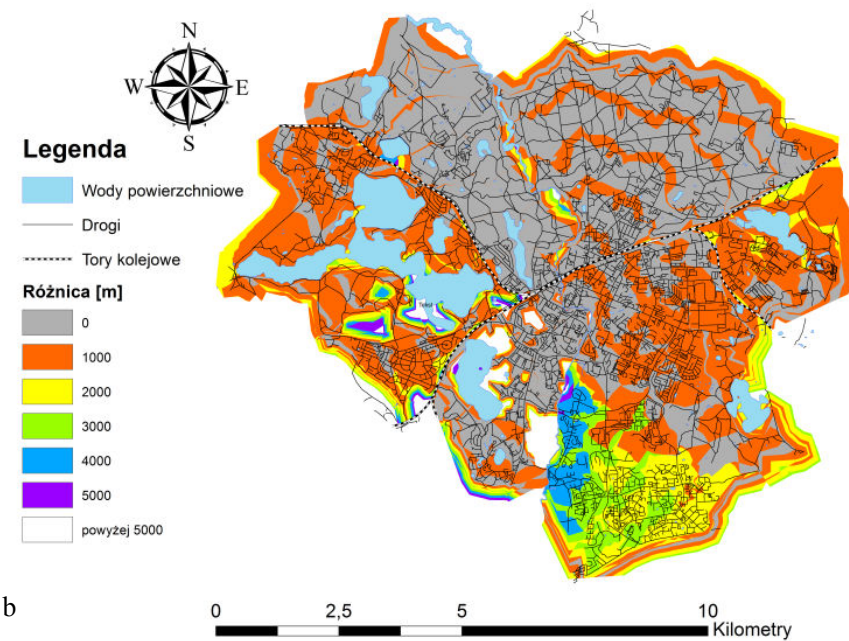
wadzeniu geometrycznych barier liniowych, powinna wyjaśnić genezę tych zmian. Przyjęto, że takie prezentacje wychodzą poza zakres niniejszego opracowania, a mogą być przedstawione po szczegółowych badaniach w kolejnej publikacji.

Wyniki analizy wykonane metodyką własną O^4 , niosą kolejne zmiany w wyznaczonym obszarze obsługiwanym. Wyniki, wyraźniej akcentują bariery przestrzenne w południowym odcinku koryta rzeki oraz w sąsiedztwie linii kolejowej. Uzupełnieniem prezentacji z rysunku 4 są dane liczbowe (tab. 1), przedstawiające zmiany powierzchni poligonów wyznaczających obszary obsługiwane w przedziałach odległościowych, w trzech przedstawianych rozwiązaniach. Należy zauważyć drobne różnice w sumach powierzchni poligonów z trzech rozwiązań, które praktycznie nie powinny wystąpić. Wynikają one z nieuwzględnienia jednego mostu (wiaduktu), na linii granicznej miasta, w części środkowozachodniej. Zestawienia z tabeli 1 pokazano na wykresach (rys. 6). Różne rozkłady wartości wskazują na niejednorodne wyniki analiz otrzymanych na tych samych danych, w zależności od przyjętej metodyki. Należy zauważyć, że wyniki przedstawione na wykresach (rys. 6) wskazują na właściwości lokalizacji uniwersytetu. Wykresy w kolorach niebieskim i zielonym wskazują, że do odległości 6 km następuje wzrost powierzchni. Wyniki są zależne, od wyboru lokalizacji punktu bazowego, kształtu sieci drogowej i kształtu granic miasta. Na wykresie czerwonym taka wartość wynosi 8 km. Bariery przestrzenne zmieniły znacznie rozkład wartości. Na wykresach (rys. 6) widać, że istotne zmiany wyników występują w przedziałach odległości o dostępności do 2 km. Mosty w pierwszej strefie (rys. 7b) mają największy wpływ na wyniki.



a

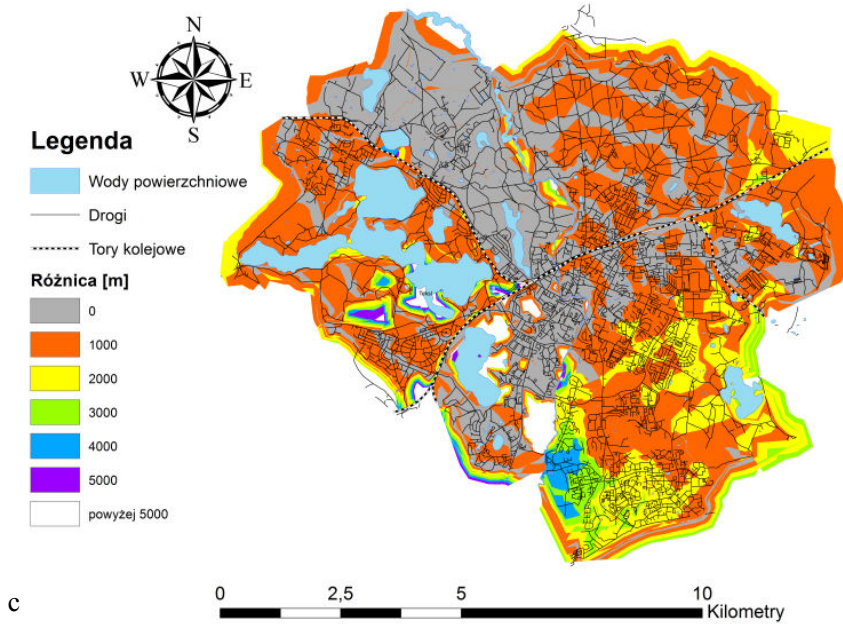
Różnice ze standardowej analizy bez uwzględnienia barier i z własnej metodyki



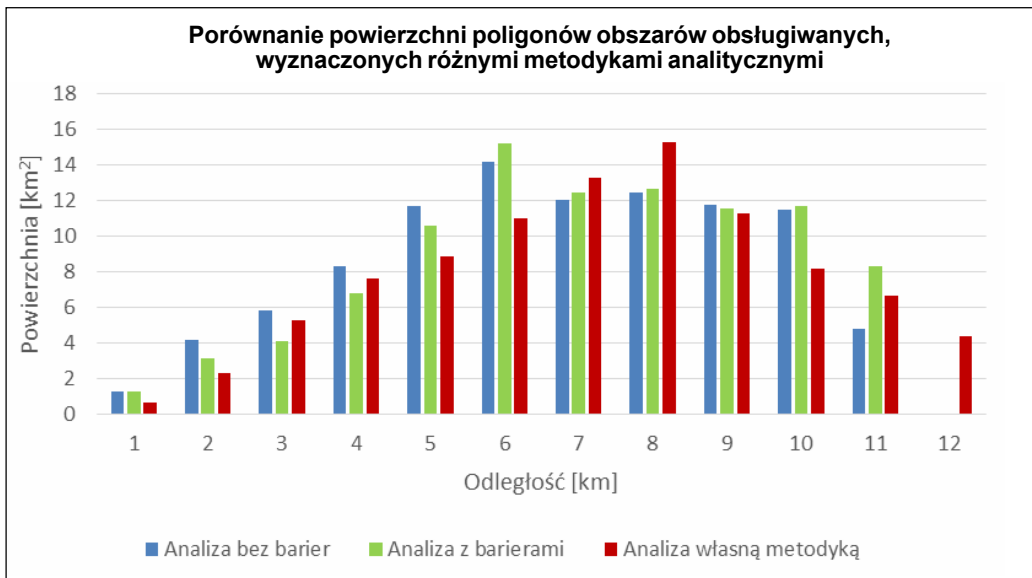
b

Rysunek 5. Porównanie wyników za pomocą określonych różnic : a – różnica wyników analizy O^S-O^{SB} ,
b – różnica wyników O^S-O^4

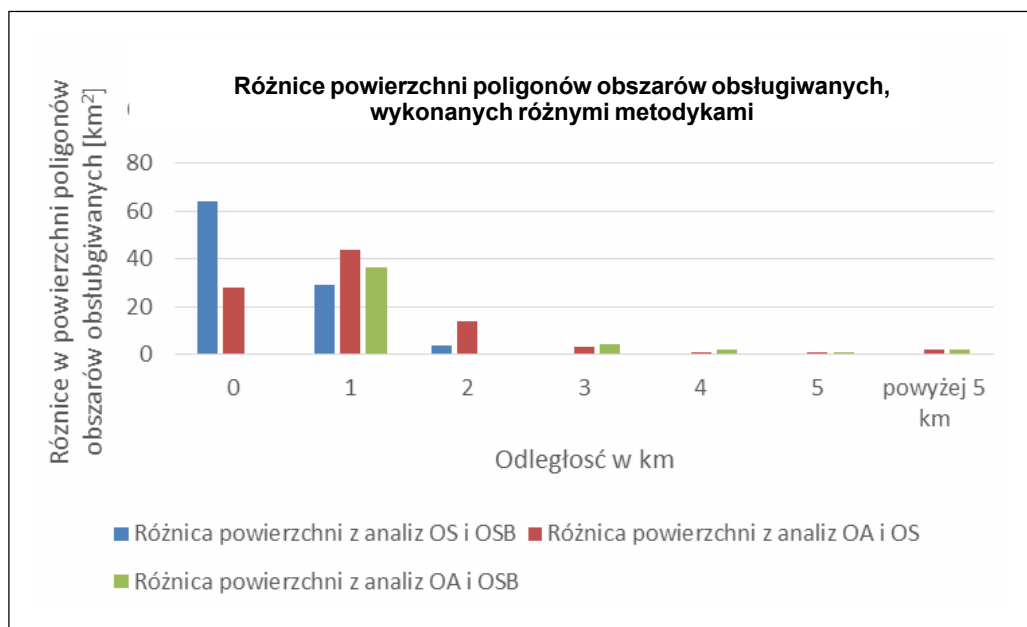
Różnice ze standardowej analizy z przyjętymi barierami i z własnej metodyki



cd. rysunku 5: c – różnica wyników $O^{SB}-O^A$



Rysunek 6. Wykres wizualizujący powierzchnię poligonów obszarów obsługiwanych w przedziałach odległości z różnych analiz: O^S , O^{SB} , O^A (wizualizacja danych z tabeli 1 i z rysunku 4a,b,c)



Rysunek 7. Wykres wizualizujący różnice powierzchni poligonów obszarów obsługiwanych, wykonanych różnymi metodykami, w przedziałach odległości (wizualizacja danych z rysunku 5a,b,c): O^S-O^{SB} ; O^A-O^S ; O^A-O^{SB}

Tabela 1. Powierzchnia obszarów dostępności z Uniwersytetu w kolejnych przedziałach odległości

Przedziały odległości [km]	Powierzchnia poligonów w [ha] wyznaczających obszar obsługiwany w przedziałach odległościowych		
	określone w metodyce klasycznej bez uwzględnienia barier O^S	określone w metodyce klasycznej z uwzględnieniem barier O^{SB}	określone w metodyce O^A
0–1	130	126	64
1–2	415	315	229
2–3	581	408	529
3–4	831	678	759
4–5	1166	1061	883
5–6	1416	1521	1100
6–7	1202	1242	1326
7–8	1244	1264	1527
8–9	1173	1155	1126
9–10	1148	1167	819
10–11	478	830	663
11–12	–	–	439
Suma	9784	9767 (brak 17 ha)	9464 (brak 320 ha)

Określając obszar dostępności z uniwersytetu do obiektów miasta, w granicach dojazdu do 5 km, wyniki uzyskane z różnych metod analitycznych różnią się maksymalnie o 430 ha (tab. 2). Przyjmując, że bufor punktu bazowego o długości 5 km stanowi powierzchnię 7854 ha, to powierzchnia oddziaływania z różnych metodyk wynosi odpowiednio procentową wartość powierzchni bazowej bufora: O^S – 39,8%; O^{SB} – 33,0%, O^A – 31,4%.

Tabela 2. Powierzchnia oddziaływania uniwersytetu określona na podstawie odległości do 5 km określona trzema metodami analitycznymi

Metoda analityczna	Powierzchnia oddziaływania [ha]	Udział powierzchni oddziaływania w powierzchni bazowej bufora o promieniu 5 km [%]
O^S	3132	39,8
O^{SB}	2588	33,0
O^A	2464	31,4

Dyskusja i wnioski

Wyznaczenie dostępności komunikacyjnej, z uwzględnieniem barier liniowych (torów kolejowych, rzek), wiązało się z propozycją własnej metodyki analitycznej. Wyniki własnej metody badawczej porównano z wynikami otrzymanymi w oparciu o dostępne narzędzia analiz sieciowych. Wyniki trzech analiz, oparte na tych samych danych lecz wykonane różnymi metodykami, wskazują na różną dostępność komunikacyjną. Różnice nie są istotne, gdyż w badanym obiekcie uwzględniono 16 mostów, co przyczyniało się do minimalizowania wpływu barier liniowych. Pomimo to należy zauważyć, że różne metodyki analiz dostępności komunikacyjnej są podstawą do uzyskania różnych wyników, które przy mniejszej liczbie mostów byłyby znaczne. Wykonując analizy dostępności komunikacyjnej należałoby uwzględniać bariery przestrzenne i konieczne jest wprowadzenie możliwości ich uwzględnienia.

Przyjmując homogeniczność przestrzeni otrzymano wyniki wskazujące na największą dostępność komunikacyjną. Zakładając heterogeniczność przestrzeni wyniki wskazują na mniejszą dostępność. Uwzględnienie barier przestrzennych w proponowanych narzędziach sieciowych wiązało się z modyfikacją modelu sieci, ograniczeniem przepływu, tym samym uzyskano inne poligony obszaru dostępności. One jednak nie są definiowane z uwzględnieniem barier. Otrzymane wyniki nie oddają właściwie badanego zagadnienia, mogą wprowadzać w błąd. Proponowana metodyka umożliwia wykonanie analiz dostępności komunikacyjnej w przestrzeni heterogenicznej z uwzględnieniem barier przestrzennych. Tym samym może ona być rozwijana w kierunku uwzględnienia barier komunikacyjnych w sieci drogowej (ograniczenie ruchu) i barier przestrzennych w przestrzeni sąsiadującej z siecią drogową. Dalsze badania łączące te dwa aspekty analiz powinny być kontynuowane, a ich automatyzacja pozwoliłaby na precyzyjne określanie obszarów obsługiwanych w zmieniających się warunkach w przestrzeni komunikacyjnej.

Podziękowania. Niniejsza publikacja była możliwa do wykonania dzięki udostępnieniu danych, w ramach licencji nr *IG-WODGIK.7522.125.2015_28_N*, przez Wojewódzki Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Olsztynie. Przy realizacji badań korzystano z oprogramowania Esri pozyskanego w ramach projektu pt. „Wyposażenie w sprzęt aparaturowy laboratorium nauk technicznych na rzecz zwiększenia oferty badawczej UWM

w Olsztynie”, realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Rozwój Polski Wschodniej na lata 2007-2013, zgodnie z zapisami umowy numer POPW.01.03.00-28-21/09-00. Wszystkim osobom zaangażowanym w tych przedsięwzięciach składamy szczególne podziękowania. Anonimowym recenzentom dziękujemy za wnikliwe analizowanie wyników, cenne uwagi, które podniosły poziom merytoryczny przedstawionej publikacji oraz wskazały dalsze kierunki badań.

Finansowanie. Prowadzone badania i niniejsza publikacja została sfinansowana z projektu statutowego „Badania infrastruktury danych przestrzennych” nr 28.610.017-300 na lata 2014-2020, realizowanego w Katedrze Geodezji Szczegółowej Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie.

Literatura (References)

- Autodesk, 2017: Autodesk AutoCAD Map 3D. <http://www.aplikom.com.pl/autodesk-autocad-map-3d>
- Babiker M.E. A., Abuelwafaa S.M., 2017: GIS base urban road network analysis in Khartoum center. *International Journal of Scientific Research in Science* vol. 3, iss. 1: 556-560, pISSN: 2395-1990, eISSN:2394-4099, Theme Section: Engineering and Technology.
- Burdziej J., 2016: Analiza dostępności przestrzennej za pomocą technologii GIS na przykładzie obiektów użyteczności publicznej w Toruniu (The analysis of spatial availability by means of GIS technology using the case of public facilities in Toruń). *Prace Komisji Geografii Komunikacyjnej PTG* 19(1): 43-51.
- Charlton M., Fotheringham S., Brundson C., 2001: Analysing access to hospital facilities with GIS. [In:] Clarke G., Madden M., (Eds.) *Regional Science in Business, Advance in Spatial Science*: 283-304, Springer.
- Cichociński P., Dębińska E., 2012: Badanie dostępności komunikacyjnej wybranej lokalizacji z wykorzystaniem funkcji analiz sieciowych (Accessibility study of a selected location using network analysis functions). *Roczniki Geomatyki* t. 10, z. 4(54) : 41-48, PTIP, Warszawa.
- Esri, 2017: ArcGIS Network Analyst. <http://www.esri.pl/arcgis-network-analyst/>
- Edward J., Biddle D.J., 2017: Using Geographic Information Systems (GIS) to Examine Barriers to Healthcare Access for Hispanic and Latino Immigrants in the U.S. South. *Journal of Racial and Ethnic Health Disparities* vol. 4, iss. 2: 297-308, Springer.
- Gadziński J., Beim M., Majewski B., 2011: Organizacja i dostępność nocnego lokalnego transportu publicznego w Poznaniu (Organisation and availability of the night public transport in Poznań). *Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe* r. 12, nr 7-8: 50-56, Instytut Naukowo-Wydawniczy SPATIUM.
- GRASS, 2017: Network analysis. http://www.ing.unitn.it/~grass/docs/tutorial_641_en/htdocs/esercitazione/network_analysis/index.html
- Kulikowski J.L., 1986: Zarys teorii grafów (The outline of the graph theory). Państwowe Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Lim H., Koo M.W., 2016: Promoting cost efficiency and uniformity in parcel delivery centre locations and service areas: a GIS-based analysis. *International Journal of Logistics Research and Applications* vol. 19, iss. 5: 369-379. <http://dx.doi.org/10.1080/13675567.2015.1090962>
- Ogrodniczak M., Ryba J., 2016: Ocena pracy służb w związku z wypadkami komunikacyjnymi z wykorzystaniem narzędzi GIS (The evaluation of services activities in context of road accidents using tools GIS). *Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe* r. 17, nr 6: 356-360, Instytut Naukowo-Wydawniczy SPATIUM.
- Ogrodniczak M., Ryba J., Ryba B., 2016: Ocena obszarów interwencyjnych policji w województwie warmińsko-mazurskim przy użyciu narzędzi GIS (Evaluation of areas of police interventions in the Warmińsko-Mazurskie Voivodeship using GIS tools). *Przegląd Naukowo-Metodyczny Edukacja dla bezpieczeństwa* r. 9, nr 2 (31): 153-164, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Bezpieczeństwa w Poznaniu, ISSN: 1899-3524.
- QGIS, 2017: User guide. http://docs.qgis.org/testing/en/docs/user_manual/

- Upchurch C., Kuby M., Zoldak M., Barranda A., 2004: Using GIS to generate mutually exclusive service areas linking travel on and off a network. *Journal of Transport Geography* 12(1): 23-33.
- Wilson R., 2000: Wprowadzenie do teorii grafów (Introduction to the graph theory). Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Streszczenie

Aplikacje GIS proponują wiele narzędzi analitycznych wspomagających rozwiązywanie zagadnień związanych z zarządzaniem przestrzenią. Częstym elementem badań są potrzeby określenia dostępności komunikacyjnej tzw. obszarów obsługiwanych. Autorzy wykorzystali pakiet analiz sieciowych firmy Esri, określając dostępność komunikacyjną na obszarze Olsztyna. Badania wykonano w dwóch wariantach. W pierwszym przyjęto, że przestrzeń jest jednorodna (przestrzeń homogeniczna), podzielona tylko siecią dróg. W drugim przyjęto, że przestrzeń jest niejednorodna (heterogeniczna) i uwzględniono bariery przestrzenne: rzeki i tory linii kolejowych. W wynikach, w wyznaczonych obszarach obsługiwanych bariery przestrzenne nie zostały uwzględnione zgodnie z oczekiwaniami autorów. W tej sytuacji zdecydowano się na opracowanie własnego algorytmu do wyznaczenia obszarów obsługiwanych. Prezentacja autorskiej metodyki i weryfikacja wyników, jest głównym celem niniejszej pracy.

Abstract

GIS applications offer many analytic tools which support solutions of issues related to spatial management. It is often necessary to determine the communication availability of the, so-called, service areas. The authors have used the network analyses package offered by Esri in order to determine the communication availability in Olsztyn. Experiments were performed for two variants. In the first variant the homogenous space was assumed which was divided by the road network only. In the second variant the heterogeneous space was assumed and spatial barriers, such as rivers and railway tracks, were considered. The results did not consider the spatial barriers according to the authors' expectations. In this situation the authors decided to develop the original algorithm to determine the service areas. The basic objective of this paper is to present the original methodology and to verify the results.

Dane autorów / Authors details:

dr hab. inż. Elżbieta Lewandowicz
<https://orcid.org/0000-0001-8847-2835>
lelea@uwm.edu.pl

inż. Paweł Flisek
<https://orcid.org/0000-0003-2922-5839>
pablo941b@gmail.com

Przesłano / Received 23.05.2017

Zaakceptowano / Accepted 7.09.2017

Opublikowano / Published 30.12.2017

