

Zastosowanie diagramu Woronoja w badaniu przestrzennych wzorców rozmieszczenia i dostępności sklepów dyskontowych

*Application of the Voronoi Diagram in analysing of spatial patterns
to the distribution of discount stores and access to them*

WOJCIECH KISIAŁA, MAGDALENA RUDKIEWICZ

Katedra Ekonomiki Przestrzennej i Środowiskowej, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu
61-875 Poznań, al. Niepodległości 10
wojciech.kisiala@ue.poznan.pl; magda.rudkiewicz@gmail.com

Zarys treści. Celem artykułu jest przedstawienie możliwości wykorzystania diagramu Woronoja w badaniach przestrzennych aspektów dostępności placówek handlowych. Założony cel zrealizowano na przykładzie analizy rozmieszczenia i dostępności przestrzennej dyskontów sieci Biedronka, działających w Poznaniu. W badaniach statystycznych zastosowano metody wskaźnikowe charakteryzujące poziom dostępności oraz miary autokorelacji przestrzennej pozwalające zidentyfikować wzorce przestrzenne rozkładu badanych cech. W świetle uzyskanych wyników stwierdzono, że pomimo znacznej liczby sklepów dyskontowych Biedronka zlokalizowanych głównie w miejscach największej koncentracji ludności, dostępność tych placówek na terenie miasta Poznania była zróżnicowana przestrzennie. Praca wypełnia pewną lukę w polskiej literaturze w stosunku do bogatej w tym względzie literatury zagranicznej.

Słowa kluczowe: diagram Woronoja, dostępność przestrzenna, autokorelacja przestrzenna, reżimy przestrzenne, Poznań, dyskonty Biedronka.

Wstęp

Diagram Woronoja jest konstrukcją tworzoną ze zbioru punktów rozmieszczonych na określonej powierzchni. Polega na takim podziale badanego obszaru na części (komórki), że każdy punkt położony wewnątrz danej komórki diagramu leży bliżej węzła, znajdującego się w tej komórce, niż jakiegokolwiek innego węzła sieci (Brassel i Reif, 1979). Podział przestrzeni zbliżony do diagramu Woronoja po raz pierwszy został zastosowany już w XVII wieku przez Kartezjusza, do przedstawienia rozmieszczenia materii we Wszechświecie (Okabe i inni, 2009).

Formalnie jednak, graf ten został wprowadzony do literatury dopiero ponad dwa wieki później przez matematyków P. Dirichleta (1850) i G. Woronoja (1908), od których nazwisk zwykło nazywać się go również tesselacją Dirichleta czy też diagramem Woronoja.

W różnych dziedzinach nauki, w których metoda ta znalazła zastosowanie, upowszechniły się także inne jej nazwy. W fizjologii i biologii przyjęło się określać ją jako *medial axis transform*, w chemii i fizyce jako *Wigner-Seitz Zones*, a w krystalografii funkcjonuje pod nazwą *domains of action*. Z kolei w meteorologii i geografii najczęściej nazywa się ją poligonami Thiessena, od nazwiska amerykańskiego meteorologa A. Thiessena (1911), który upowszechnił wykorzystanie takiego podziału płaszczyzny wyznaczając średnią sumę opadu w zlewni na podstawie wyników zebranych z kilku posterunków pomiarowych (Aurenhammer, 1991; Aurenhammer i Klein, 2000; Longley i inni, 2008).

Nie są to jedyne obszary zastosowania tego diagramu. B.N. Boots (1987) zwraca uwagę na jego użyteczność w fizyce molekularnej, astrofizyce, inżynierii materiałowej, biochemii, geologii, ekologii i archeologii. Z kolei A. Okabe i inni (2009) wymieniają 23 dyscypliny, w których możliwe jest wykorzystanie diagramu Woronoja, a wśród nich: kartografię, marketing, statystykę, urbanistykę i planowanie regionalne.

Szerokie zastosowanie diagramu Woronoja znalazł w badaniach przestrzenno-ekonomicznych. Był narzędziem analizy m.in. obszarów działania szkół (Pearce, 2000; Karimi i inni, 2009; Wang J. i inni, 2014), własności nieruchomości gruntowych (Butler i inni, 2014), wykorzystania terenu w celu projekcji rozwoju przestrzennego miast (Tayyebi i inni, 2013), strategii wyborczych partii politycznych (Abellanas i inni, 2006) oraz dostępności placówek ochrony zdrowia (Twigg, 1990; Gething i inni, 2004; Tanser i inni, 2006; Moise i inni, 2011) i bibliotek publicznych (Park, 2012). W innych pracach wykorzystywany był m.in. w analizach transportowych (Wang S. i inni, 2013; 2014) oraz analizach lokalizacyjnych centrów handlowych (West i inni, 1988). Na użyteczność diagramu Woronoja przy wyznaczaniu zasięgu potencjalnego rynku dla sieci sklepów zwracali też uwagę P. Longley i inni (2008).

Autorzy wyżej wymienionych publikacji wskazują, że pewną wadą analiz bazujących na diagramie Woronoja jest skokowa zmiana wartości badanej cechy przy przekraczaniu granic poszczególnych komórek diagramu. Mimo to zgodnie podkreślają użyteczność i walory diagramu, głównie ze względu na stosunkowo prostą jego konstrukcję, możliwość przyspieszenia obliczeń i łatwość interpretacji uzyskiwanych wyników.

Pomimo długiej tradycji wykorzystywania diagramu w badaniach publikowanych w geograficznej i ekonomicznej literaturze zagranicznej, nie doczekał się on licznych implementacji w polskich pracach z tego zakresu. Nieliczne znane zastosowania w analizie przestrzennej obejmują m.in. badanie rozmieszczenia

obiektów sakralnych i wyznaczanie zasięgu krajobrazu pogranicza kulturowego (Awramiuk-Godun, 2013), określanie obszarów efektywnego zasięgu betonowni (Koźniewski i Orłowski, 2011), czy też analizę zróżnicowania przestrzennego średniej dobowej liczby wyjazdów zespołów ratownictwa medycznego z poszczególnych miejsc stacjonowania w Polsce (Kisiała, 2011).

Praca służy realizacji celu metodycznego. Głównym zamiarem autorów było zbadanie przestrzennych aspektów dostępności placówek handlowych przy wykorzystaniu diagramu Woronoja. Założony cel zrealizowano na przykładzie analizy rozmieszczenia i poziomu dostępności przestrzennej sklepów dyskontowych sieci Biedronka, funkcjonujących w mieście Poznaniu. Należąca do portugalskiej grupy kapitałowej Jerónimo Martins Biedronka jest największą siecią dyskontów zarówno w Polsce, jak i w samym Poznaniu. Biorąc pod uwagę rosnącą popularność formatu dyskontowego we współczesnym handlu detalicznym, zasadne wydawało się zbadanie zróżnicowania przestrzennego dostępności dyskontów sieci o największym udziale w rynku.

Komórki diagramu Woronoja utożsamiano z teoretycznym, opartym na kryterium najbliższej odległości, zasięgiem rynkowym poszczególnych dyskontów na obszarze miasta. Każdą z komórek opisano za pomocą wskaźników charakteryzujących poziom dostępności. Następnie wykorzystano miary autokorelacji przestrzennej pozwalające zidentyfikować wzorce przestrzenne rozkładu dostępności sklepów dyskontowych w mieście.

Rozwój sieci dyskontowych w Polsce

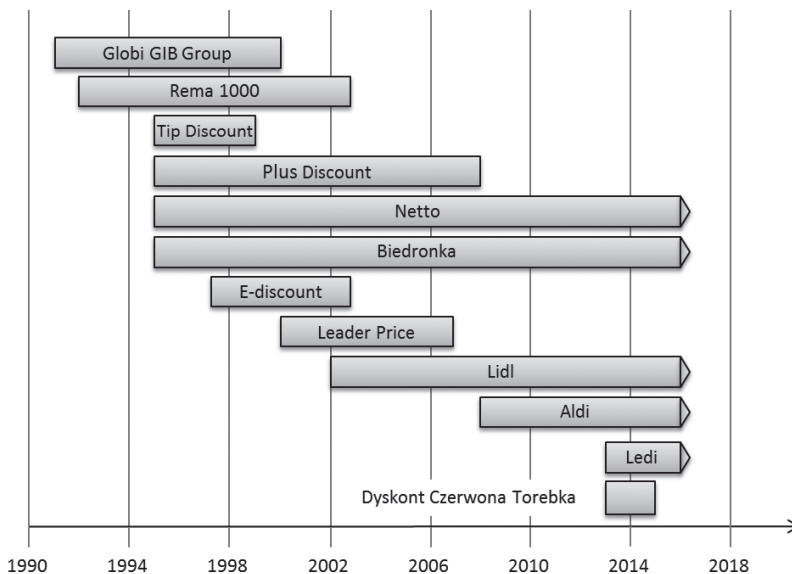
Problematyka niniejszej pracy wpisuje się w nurt geograficznych badań dotyczących handlu. Badania z zakresu geografii handlu mają długą tradycję w literaturze światowej, a także polskiej. Obszerny przegląd opracowań związanych z tym nurtem dostępny jest m.in. w pracach Z. Taylora (2000), T. Kaczmarka (2010), J. Dzieciuchowicza (2012a, 2013), W. Wilka (2013a) czy też D. Ilnickiego (2014). Współcześnie szczególną uwagę w krajowych publikacjach zwraca się na fenomen handlu wielkopowierzchniowego, w tym przede wszystkim działalność centrów handlowych (por. m.in. Maleszyk, 1999; Jarosz, 2002; Kłosowski, 2002; Namysłak, 2006; Gwosdz i Sobala-Gwosdz, 2008; Czerwiński, 2012a, b; Dzieciuchowicz, 2012b). Znacznie rzadziej podejmowane są badania, których przedmiotem byłyby funkcjonowanie oraz przestrzenne aspekty organizacji sieci dyskontowych (por. m.in. Maleszyk, 2004, 2005a, b, 2006; Szumilas, 2011; Wilk, 2013b; Kisiała i Rudkiewicz, 2016).

Sklepy dyskontowe są formatem handlu, który w ostatnich latach ulegał znacznym przekształceniom. Na początku lat 1990. dyskonty były definiowane jako placówki o ograniczonym asortymencie towarów, na ogół niskich cenach oraz niskim poziomie świadczonych usług. Ponadto wskazywano również na konieczność nabywania w nich towarów w zbiorczych opakowaniach (Lerchen-

muller, 1992). Od tego czasu przeszły istotną metamorfozę, poszerzając asortyment oferowanych produktów, poprawiając jakość obsługi klienta oraz estetykę wyglądu zewnętrznego i wewnętrznego dyskontów. Współcześnie funkcjonujące na polskim rynku sklepy dyskontowe nie przypominają już tych, które powstawały w Polsce na przełomie XX i XXI w. (Maleszyk, 2005b).

Wyróżnia się cztery podstawowe formy sklepów dyskontowych: sklepy superdyskontowe (*hard discount*), sklepy miękkiego dyskonta (*soft discount*), supermarkety dyskontowe o poszerzonej grupie produktów (*extended range discount*) oraz hipermarkety dyskontowe (*warehouse stores*). Hipermarkety dyskontowe oraz supermarkety dyskontowe o poszerzonej gamie produktów, w porównaniu do dwóch pozostałych form, cechują się przede wszystkim szerszym i głębszym asortymentem oraz stosunkowo wyższymi cenami. Dla sklepów superdyskontowych typowy jest zaś wysoki udział produktów marki własnej, niekiedy do 90% asortymentu, podczas gdy w pozostałych formach dyskontu odsetek ten nie przekracza 50% (Domański, 2005).

Pierwszymi obiektami formatu dyskontowego w Polsce były sklepy belgijskiej sieci Globi i norweskiej Rema 1000 (ryc. 1). Obiekty te należały do kategorii *soft discount*, charakteryzowała je więc względnie szeroka oferta asortymentowa (Wilk, 2013b). W drugiej połowie lat 1990. rozpoczęła



Ryc. 1. Działalność sieci dyskontowych w Polsce

Opracowanie własne na podstawie pracy W. Wilka (2013b) oraz danych sieci dyskontowych.

Activity of chains of discount stores in Poland

Authors' own elaboration after W. Wilk (2013b), and data obtained from the discount store chains.

swoją działalność na naszym rynku znaczna liczba sklepów formatu *hard discount*, z wysokim udziałem produktów marki własnej. Należały one m.in. do takich sieci jak: Biedronka (wówczas już w rękach portugalskiej spółki Jerónimo Martins), niemiecki Plus Discount (Tengelmann) oraz duńskie Netto. Zarówno sieć Biedronka, jak i Netto utrzymały się na rynku do dnia dzisiejszego.

Dopiero po roku 2000 największe niemieckie sieci handlowe zaczęły budować swoje obiekty w Polsce – Lidl od roku 2002, natomiast Aldi od 2008. W 2013 r., rozpoczęły działalność dwie nowe polskie sieci dyskontów – Dyskont Czerwona Torebka oraz Ledi. Pierwsza planowała otwierać po 100 sklepów rocznie, ale już w 2015 roku, po uruchomieniu zaledwie 38 dyskontów, została zlikwidowana. Z kolei sklepy drugiej sieci oferują bogaty asortyment produktów (zbliżony do supermarketów), natomiast wielkością i cenami oddają charakter dyskontów. Obiekty te można zaliczyć do formatu *extended range discount*.

Jak wynika z raportu Market Side, w Polsce istnieje ponad 3700 sklepów dyskontowych, a docelowo na rynku jest miejsce na 5000 obiektów tego formatu¹. Na wysokie, od początku XXI wieku, tempo rozwoju sieci stosujących strategię niskich cen wskazują m.in. W. Wilk (2013a) i W. Budner (2014). Rosnącą popularność tej formy handlu wielu autorów tłumaczy nie tylko atrakcyjnymi cenami towarów w sklepach dyskontowych, lecz również ich korzystnym położeniem względem miejsc zamieszkania ludności (por. m.in. Domański, 2001; Maleszyk, 2005b; Wilk, 2013b; Angowski i Lipowski, 2014; Chudak, 2014).

Obecnie największą siecią dyskontową w Polsce jest Biedronka, która na koniec 2015 roku posiadała 2667 obiektów zlokalizowanych na terenie całego kraju². Dane wskazują, że od kilku lat sieć ta systematycznie zwiększa udział w rynku poprzez uruchamianie kolejnych dyskontów. Warto zauważyć, że liczba sklepów tej sieci pomiędzy rokiem 2009 a 2012 zwiększyła się z 1466 do 2125 (wzrost o 45%), natomiast do końca 2015 r. przybyły kolejne 542 dyskonty (wzrost o 25,5%). Liczba placówek, nieporównywalna do innych sieci handlowych funkcjonujących na terenie Polski, jest przewagą konkurencyjną sieci Biedronka. Lokalizacja jej dyskontów w pobliżu miejsc zamieszkania ludności sprawia, że od kilku lat zaczynają one konkurować o klientów z mniejszymi sklepami osiedlowymi i coraz częściej wygrywają tę walkę, oferując konsumentom atrakcyjniejsze ceny oraz szerszy asortyment produktów niż tradycyjne obiekty (por. Angowski i Lipowski, 2014).

¹ por. <http://www.firma.egospodarka.pl/129480,Sieci-dyskontowe-w-Polsce-w-2015-roku,1,11,1.html> (14.05.2016).

² <http://www.jeronimomartins.pt/negocios/distribui%C3%A7%C3%A3o-alimentar/biedronka.aspx?lang=en> (14.05.2016).

Metody badań

Diagram Woronoja

Jednym ze sposobów analizy rozmieszczenia obiektów o charakterze punktowym tego samego poziomu hierarchicznego jest wykreślenie tzw. diagramu Woronoja (ang. *Voronoi diagram*). Skonstruowanie tego diagramu nie tylko pozwala na zobrazowanie rozkładu przestrzennego badanych obiektów (por. Duyckaerts i Godefroy, 2000; Okabe i inni, 2009; Liu i in., 2009), ale może być również podstawą do dalszych analiz, tj. analizy dopasowania rozmieszczenia tych obiektów do rozmieszczenia ludności, wyznaczenia średnich odległości i zasięgów potencjalnego rynku, czy też identyfikacji reżimów przestrzennych, charakterystycznych ze względu na badaną cechę.

Matematycznie diagram Woronoja – to graf prosty złożony z wieloboków, które skonstruowane są wokół punktów w taki sposób, że z każdego dowolnego miejsca znajdującego się wewnątrz danego wieloboku jest bliżej do punktu, wokół którego wielobok ten został utworzony, niż do jakiegokolwiek innego punktu z analizowanego zbioru. Zależność tę dla danego wieloboku V wykreślonego wokół dowolnego punktu ze zbioru $P\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, gdzie $p_i \in \mathbb{R}^2$, a $n \in \mathbb{N}$, można zapisać następująco:

$$V(p_i) = \{x \in \mathbb{R}^2 \mid \forall_{j \neq i} d(x, p_i) \leq d(x, p_j)\},$$

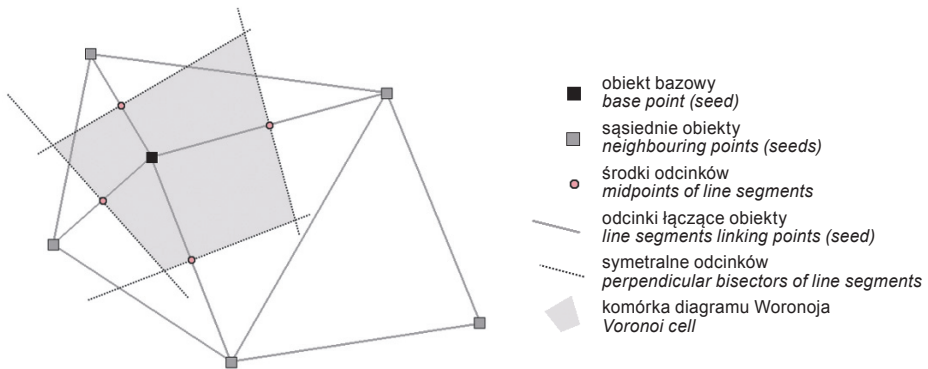
przy czym d oznacza metrykę euklidesową (Okabe i inni, 2009).

Diagram Woronoja dla zbioru P stanowi zatem podział płaszczyzny na n komórek Woronoja $V(p_1), V(p_2), \dots, V(p_n)$.

Algorytmy tworzenia diagramu Woronoja zostały kompleksowo omówione m.in. przez K.F. Brassela i D. Reifa (1979), S. Fortune'a (1995), F. Aurenhammera i R. Kleina (2000), F.P. Preparata'ę i M.I. Shamosa (2003), a także A. Okabe i innych (2009). Ogólnie biorąc, konstrukcja komórek Woronoja polega na zbudowaniu sieci trójkątów opartej na punktach analizowanego zbioru oraz wyznaczeniu symetralnych ich boków (ryc. 2). Kąty wewnętrzne utworzonych trójkątów powinny być możliwe największe, a co za tym idzie, żaden z wierzchołków nie może znaleźć się w obrębie okręgów opisanych na tych trójkątach (tzw. triangulacja Delaunay).

Konstrukcja diagramu Woronoja umożliwia transformację układu punktów reprezentujących realne obiekty (sklepy, szkoły, placówki ochrony zdrowia itp.) w układ jednostek o charakterze powierzchniowym, w którym każda komórka diagramu przyporządkowana jest do jednego węzła (punktu). Takie przekształcenie pozwala na identyfikację sąsiedztwa poprzez kryterium wspólnej granicy poszczególnych jednostek i uniknięcie problemów związanych z koniecznością wyboru maksymalnego dystansu, jaki może dzielić sąsiadów (ang. *threshold distance*). Trzeba pamiętać, że konstrukcja i interpretacja diagramu Worona-

ja będą poprawne tylko wówczas, gdy w analizie wykorzystane zostaną obiekty z tego samego poziomu hierarchicznego.



Ryc. 2. Konstrukcja komórki diagramu Woronoja
Opracowanie własne na podstawie Awramiuk-Godun (2013).

Construction of Voronoi cell
Authors' own elaboration after Awramiuk-Godun (2013).

Globalne i lokalne miary autokorelacji przestrzennej

Autokorelacja przestrzenna definiowana jest jako „stopień skorelowania obserwowanej wartości zmiennej w danej lokalizacji z wartością analogicznej zmiennej w innej lokalizacji” (Suchecki i Olejnik, 2010, s. 103). Oznacza to, że „występowanie pewnego zjawiska w jednej jednostce przestrzennej powoduje zwiększanie lub zmniejszanie prawdopodobieństwa występowania tego zjawiska w sąsiednich jednostkach” (Bivand, 1980, s. 23). Wartość badanej zmiennej w danej jednostce obserwacji jest zatem powiązana z wartościami tej samej zmiennej z innych lokalizacji, a na stopień takiej relacji wpływa wzajemne położenie obiektów i dystans między nimi. Jest to zgodne z tzw. pierwszym prawem geografii sformułowanym przez W. Toblera (1970), według którego wszystkie obiekty w przestrzeni (jednostki obserwacji) wzajemnie na siebie oddziałują, a interakcje przestrzenne są tym większe, im mniejsza jest odległość pomiędzy obiektami (bliższe obiekty są bardziej powiązane niż obiekty odległe). Według P. Longleya i innych (2008, s. 92) regułę Toblera można traktować jako opisową definicję autokorelacji przestrzennej.

Jedną z najczęściej wykorzystywanych miar służących do testowania zależności przestrzennych w obrębie całego badanego obszaru, jest globalna statystyka *I*-Morana (por. m.in. Bivand, 1980; Longley i inni, 2008; Kossowski, 2010). Globalny indeks Morana mierzy ogólny wzorec (tendencję) zależności przestrzen-

nej w badanym układzie. Tymczasem nawet w sytuacji braku autokorelacji globalnej, częstsze niż losowe podobieństwo bliskich sobie obserwacji może występować w wymiarze lokalnym (jako korelacja wartości zmiennej z danej lokalizacji z wartościami tej zmiennej w lokalizacjach sąsiednich). Dekompozycję miary globalnej *I*-Morana na części dotyczące poszczególnych lokalizacji umożliwiają lokalne statystyki Morana I_i , należące do grupy tzw. mierników LISA (ang. *local indicators of spatial association*) upowszechnionych przez L. Anselina (1995).

Istotnie statystycznie wartości lokalnego indeksu Morana pozwalają na identyfikację charakterystycznych wzorców przestrzennych – klastrów (ang. *clusters*) i jednostek odstających (ang. *outliers*). O występowaniu klastrów – czyli skupień podobnych do siebie jednostek pod względem analizowanej cechy – świadczą dodatnie wartości lokalnej statystyki Morana. Podobieństwo może ujawniać się w zakresie zarówno wysokich, jak i niskich wartości. Ujemne wartości I_i pozwalają identyfikować obserwacje nietypowe – jednostki o wysokich wartościach sąsiadujące głównie z jednostkami o niskich wartościach i odwrotnie – jednostki z niskimi wartościami w otoczeniu większości sąsiadów o wysokich wartościach.

Graficznym uzupełnieniem globalnej i lokalnych zależności przestrzennych jest tzw. moranowski wykres rozproszenia, którego oś odciętych przedstawia standaryzowane wartości analizowanej zmiennej dla poszczególnych obserwacji, a oś rzędnych jej wartości przestrzennie „opóźnione” (ang. *spatial lag*) (por. m.in. Suchecki i Olejnik, 2010). Nadmienić należy, że współczynnik kierunkowy prostej dopasowanej do wykreślonego diagramu rozrzutu jest wartością globalnego indeksu *I*-Morana dla badanej zmiennej.

Aby utworzyć mapę reżimów przestrzennych wykorzystuje się istotność statystyczną lokalnych statystyk I_i . Wydziela się na niej pięć kategorii jednostek – jedną bez istotnej statystycznie lokalnej autokorelacji przestrzennej oraz cztery istotne statystycznie układy: HH – wysokie wartości sąsiadujące z wysokimi, LL – niskie z niskimi, LH – niskie z wysokimi i HL – wysokie z niskimi (por. Janc, 2006; Kopczevska, 2008; 2010).

Schemat postępowania badawczego

Jak wspomniano we wstępie, badanie układów przestrzennych rozmieszczenia i dostępności sklepów dyskontowych zrealizowano na przykładzie placówek sieci Biedronka zlokalizowanych w granicach miasta Poznania. Na początku przeprowadzono inwentaryzację sklepów, wykorzystując bazę adresową udostępnioną przez Jerónimo Martins. Położenie Biedronek określono za pomocą współrzędnych geograficznych. Pomiaru wielkości poszczególnych dyskontów dokonano zgodnie z klasyfikacją Jerónimo Martins, wyróżniającą pięć rodzajów obiektów, tj. *small*, *mini*, *medium*, *big* oraz *super big*. Ze względu na brak danych dotyczących powierzchni sprzedaży Biedronek w Poznaniu (Jerónimo Martins nie udostępnia tego typu informacji), klasyfikację przeprowadzono na

podstawie liczby koszy *non-food* znajdujących się w obrębie powierzchni sprzedaży poszczególnych sklepów. Kosze *non-food* służą ekspozycji zmiennej części asortymentu dyskontów Biedronka, głównie produktów nieżywnościowych, a ich liczba dobrze odzwierciedla wielkość poszczególnych placówek.

Na podstawie zebranych informacji o liczbie koszy *non-food*, każdy z analizowanych sklepów przyporządkowano do jednej z pięciu wydzielonych klas, których granice ustalono na podstawie informacji uzyskanych od pracowników Biedronki. Dodatkowo, na potrzeby późniejszych analiz, poszczególnym klasom przypisano wagi, zgodnie z którymi najmniejsze sklepy (waga 1) są traktowane jako pięciokrotnie mniejsze od największych (waga 5), co w dużym stopniu oddaje stan faktyczny³. Tabela 1 przedstawia przedziały klasowe, przypisane do nich wagi oraz liczbę dyskontów z terenu Poznania, które znalazły się w poszczególnych klasach.

Tabela 1. Klasyfikacja dyskontów Biedronka zlokalizowanych w Poznaniu
Classification of Biedronka discount stores located in Poznań

Przedział <i>Range</i>	Waga / <i>Weight</i>	Liczba obiektów <i>Number of stores</i>
do 19 (<i>small</i>)	1	16
20-39 (<i>mini</i>)	2	23
40-59 (<i>medium</i>)	3	18
60-79 (<i>big</i>)	4	2
80 + (<i>super big</i>)	5	2

Opracowanie własne. / Authors' own elaboration.

Dalszą część procedury badawczej przeprowadzono za pomocą technik GIS, wykorzystując oprogramowanie ESRI ArcGIS 10.1. Analizę formalną rozpoczęto od transformacji realnych obiektów (dyskontów) w układ modelowy, w którym każdy obiekt realny reprezentowany był przez punkt o określonych parametrach (współrzędnych geograficznych i wadze określającej jego wielkość). Powstały w ten sposób zbiór punktów wykorzystano do budowy diagramu Woronoja.

W kolejnym etapie wykorzystano cyfrowe dane GIS pozyskane z Zarządu Geodezji i Katastru Miejskiego GEOPOZ, dotyczące rozmieszczenia ludności w Poznaniu. Udostępniona warstwa zawierała podział powierzchni Poznania na siatkę kwadratów o boku 200 m. Każda z jednostek (kwadrat) scharakteryzowa-

³ Procedurę ustalania wag wprowadzono ze względu na znaczną różnicę pomiędzy największą a najmniejszą liczbą koszy *non-food* w poszczególnych sklepach (rozpiętość wartości cechy wynosiła 101). Wykorzystanie bezpośrednio tej wartości jako wielkości dyskontów sprowadzałoby się do założenia, że największy sklep jest ponad stukrotnie większy od najmniejszego. W związku z tym zdecydowano się na nadanie sklepom wag, które nawiązując do oficjalnego podziału Biedronek na sklepy *small*, *mini*, *medium*, *big* oraz *super big*, w znacznej mierze oddają charakter i wielkość obiektów.

na była liczbą ludności zamieszkującą jej obszar. Na podstawie relacji wzajemnego położenia (siatki kwadratów i komórek diagramu) określono liczbę ludności zamieszkującą poszczególne komórki diagramu Woronoja.

Następnie obliczono wskaźniki charakteryzujące poszczególne komórki diagramu pod kątem dostępności przestrzennej sklepów Biedronka. Biorąc pod uwagę dwa podstawowe wymiary dostępności usług: bliskość (relacje pomiędzy rozmieszczeniem podaży i popytu) i osiągalność (relacje pomiędzy rozmiarami i rodzajami oferowanych usług a rozmiarami i rodzajami potrzeb konsumentów) dla każdej komórki diagramu oszacowano: (1) średnią odległość miejsc zamieszkania ludności do najbliższego dyskontu ważoną liczbą ludności oraz (2) ilorazowy wskaźnik liczby ludności i wielkości (wagi) sklepu. Bazując na tych miarach wyznaczono wskaźnik syntetyczny dostępności przestrzennej, jako średnią z wartości uwzględnionych w badaniu cech, uprzednio poddanych standaryzacji.

Równocześnie określono relacje sąsiedztwa pomiędzy badanymi jednostkami (komórkami diagramu) poprzez konstrukcję macierzy wag przestrzennych. Wagi przestrzenne wyznaczono na podstawie przyległości obiektów. Innymi słowy, skonstruowano binarną macierz, w której wartości 1 charakteryzowały sąsiadów, czyli obiekty mające wspólną granicę, bez względu na jej długość. Wartość 0 w macierzy przypisana była obiektom niepowiązanym oraz elementom na głównej przekątnej macierzy. Macierz sąsiedztwa poddano standaryzacji rzędami, dzięki czemu suma wag sąsiadów dla każdego obiektu była zawsze taka sama (równa 1).

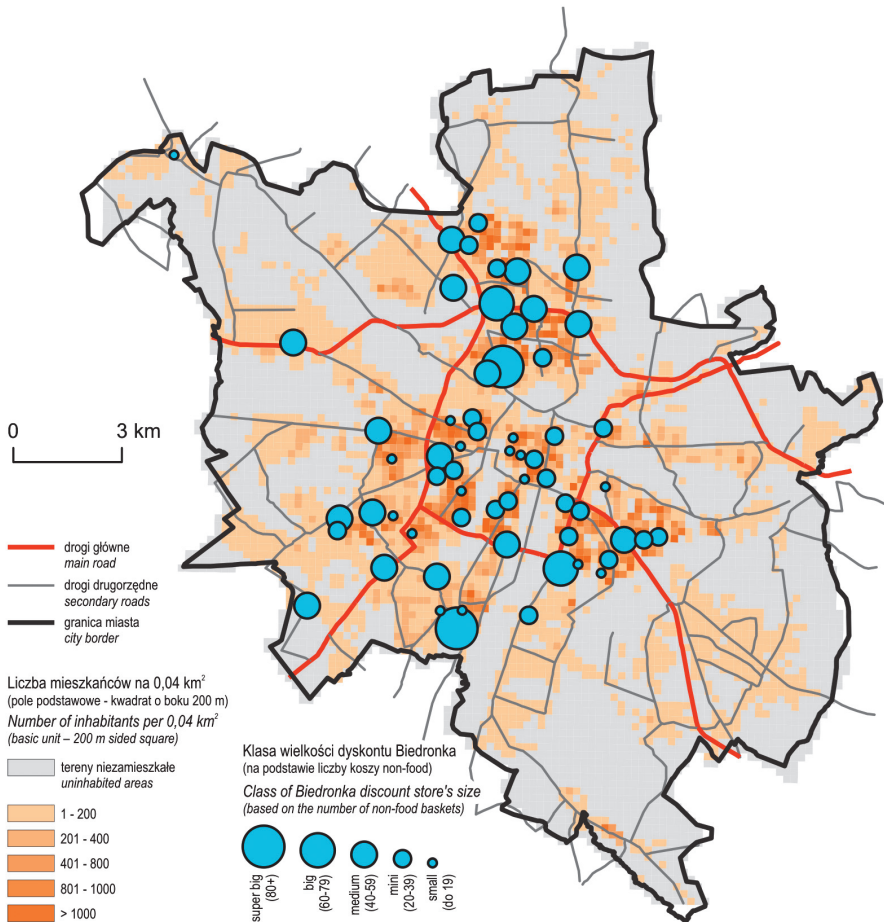
Na podstawie tak zgeneralizowanej struktury sąsiedztwa komórek analizowanego diagramu Woronoja dla wskaźnika syntetycznego charakteryzującego poziom dostępności dyskontów dokonano pomiaru autokorelacji przestrzennej. Badanie prowadziło do określenia reżimów przestrzennych umożliwiających identyfikację zróżnicowań lokalnych oraz wyróżnienie typów jednostek względem rodzaju i istotności statystycznej występujących zależności przestrzennych.

Wyniki

Rozmieszczenie dyskontów Biedronka na terenie Poznania

Według stanu na 30.06.2015 r. w Poznaniu funkcjonowało 61 sklepów należących do sieci Biedronka, a ich położenie na tle rozmieszczenia ludności w mieście przedstawiono na rycinie 3. Pełen wykaz dyskontów Biedronka zlokalizowanych w Poznaniu i ich charakterystyki wykorzystane w badaniach zawiera Aneks 1.

Dyskonty sieci Biedronka zlokalizowane były głównie w centralnej części Poznania, wzdłuż linii północ-południe. Generalnie uruchamiano je w miejscach największej koncentracji ludności (szczególnie obszary centralne zwartej zabudowy kamienicznej i tereny największych osiedli bloków mieszkalnych). Tylko nieliczne położone były na obszarach peryferyjnych o niskim poziomie zaludnienia. Dotychczas nie zlokalizowano żadnej placówki tej sieci w południowo-wschodnich, wschodnich i skrajnie północnych fragmentach miasta.



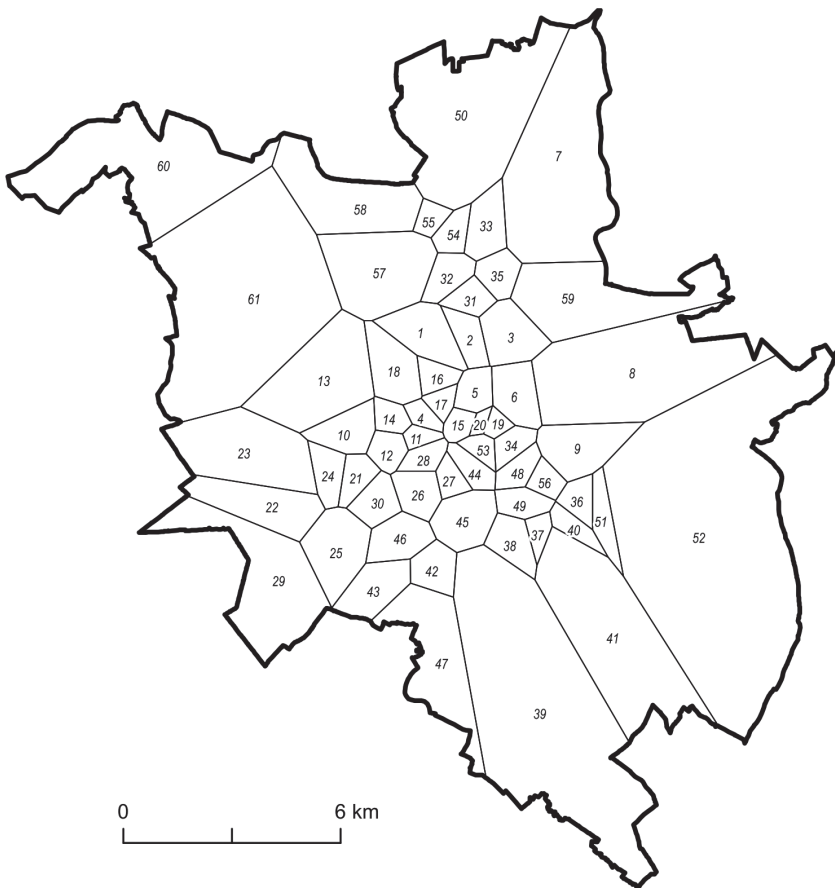
Ryc. 3. Dyskonty sieci Biedronka (stan na 30.06.2015 r.) na tle rozmieszczenia ludności w Poznaniu

Opracowanie własne na podstawie danych Jerónimo Martins oraz GEOPOZ.

Biedronka discount stores (as of 30.06.2015) and the distribution of population in Poznań
Authors' own elaboration based on data from Jerónimo Martins and GEOPOZ.

Rozmieszczenie dyskontów Biedronka – analiza diagramu Woronoja

Otrzymany diagram Woronoja (ryc. 4), w odróżnieniu od mapy sygnaturowej dyskontów, obrazuje rozmieszczenie tych placówek w sposób obszarowy, a nie punktowy. Nagromadzenie w pewnych częściach miasta wieloboków o stosunkowo małej powierzchni świadczy o dużym zagęszczeniu sieci badanych obiektów w tych miejscach. Z kolei duże powierzchnie komórek diagramu świadczą o znacznym rozproszeniu dyskontów. Wydłużenie wieloboków w jednym kierunku



Ryc. 4. Diagram Woronoja dla dyskontów Biedronka funkcjonujących na terenie Poznania w 2015 r. (numery zgodnie z kolumną ID wykazu zamieszczonego w Aneksie 1)

Opracowanie własne, podobnie następane ryciny.

Voronoi diagram for *Biedronka* discount stores in Poznań in 2015 (numbers in line with ID column of register included in Annex 1)

Authors' own elaboration, as with further figures below.

ku (np. wertykalne lub horyzontalne) dowodzi orientacji sklepów w kierunku prostopadłym. Ponadto wzrost stopnia koncentracji obiektów skutkuje oddalaniem się położenia węzłów poszczególnych komórek od ich środków geometrycznych (por. Okabe i inni, 2009).

Największa koncentracja dyskontów Biedronka występuje w centralnej części miasta, wzdłuż jego wertykalnej osi. Obszary peryferyjne cechuje dużo mniejsze nagromadzenie sklepów. Pewnym wyjątkiem są południowo-zachodnie części Poznania (osiedla Świerczewo, Górczyn, Grunwald Południe, Junikowo), gdzie

ma miejsce umiarkowana koncentracja dyskontów. Tereny te odróżnia jednak od innych osiedli zlokalizowanych peryferyjnie stosunkowo duże zaludnienie i zwarta zabudowa.

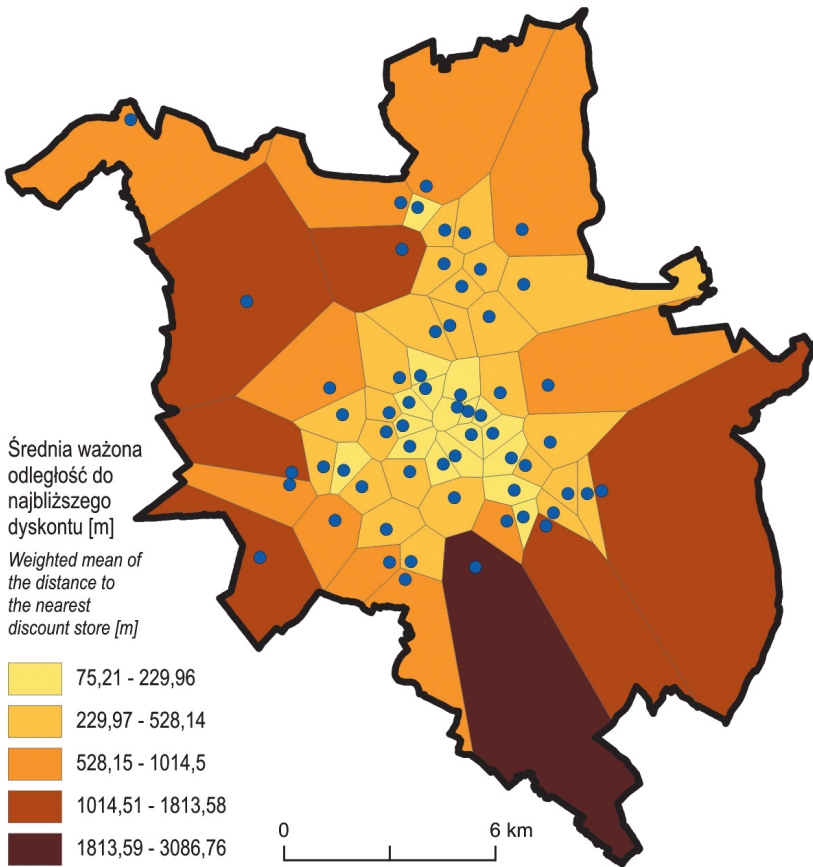
Największą powierzchnię mają komórki diagramu odpowiadające sklepom przy ul. Piaśnickiej (nr 52), Książęcej (nr 39) i Dąbrowskiego (nr 61) – wszystkie przekraczają 20 km². Przeciwna sytuacja dotyczy wieloboków wokół dyskontów funkcjonujących w centrum miasta – na ul. Święty Marcin (nr 20), placu Wiosny Ludów (nr 19) i ul. Matejki (nr 11), których powierzchnia nie przekracza 0,5 km². Duży zakres wielkości powierzchni poszczególnych komórek diagramu Woronoja sugeruje, że rozmieszczenie dyskontów jest nierównomierne, co może przekładać się na zróżnicowany poziom dostępności przestrzennej Biedronek. Sugeruje również zróżnicowanie przestrzenne ich potencjalnych obszarów rynkowych.

Dostępność przestrzenna dyskontów Biedronka – analiza wskaźnikowa

Analizując stopień dopasowania rozmieszczenia dyskontów Biedronka do rozmieszczenia ludności w mieście założono, że w przypadku równomiernego rozlokowania równych wielkościami sklepów, średnia ważona ludnością odległość do każdego z dyskontów powinna być jednakowa, a każdą komórkę diagramu Woronoja powinna zamieszkiwać taka sama liczba osób.

Wyniki analizy średniej ważonej odległości do dyskontów w poszczególnych komórkach diagramu dowodzą, że w Poznaniu występują duże dysproporcje w rozkładzie przestrzennym sklepów i ludności miasta. Zauważalny jest koncentryczny układ zmienności przestrzennej dystansu, jaki przeciętnie muszą pokonać mieszkańcy Poznania do najbliższego sklepu Biedronka. Najmniejsze odległości, nieprzekraczające 250 m, występują w centralnych częściach miasta i generalnie rosną w miarę oddalania się w kierunku granic. Ekstremalnie wysokie wartości zidentyfikowano w południowo-wschodnich obszarach peryferyjnych, gdzie średnia odległość dzieląca miejsca zamieszkania ludności od najbliższego dyskontu przekracza 1,5 km i sięga nawet ponad 3 km (por. ryc. 5).

Odmienny obraz daje analiza ilorazowego wskaźnika liczby ludności przypadającej na wielkość sklepu (wyrażoną za pomocą uprzednio nadanych wag). Rozmieszczenie komórek o różnych wartościach analizowanego wskaźnika wydaje się losowe, co przekłada się na brak ewidentnych prawidłowości czy wzorców przestrzennych. Równocześnie można zauważyć dużą rozpiętość wartości wliczonych dla poszczególnych komórek diagramu Woronoja. Najmniejsze obciążenie cechuje sklepy z ul. Starołęckiej (nr 38), Lechickiej (nr 32) i Wojskowej (nr 12). Są to lokalizacje poza ścisłym centrum miasta, ale też znacznie oddalone od jego granic administracyjnych. W sąsiedztwie tych komórek występują jednostki o najwyższych wartościach analizowanego wskaźnika, czyli takie, których osiągalność może być utrudniona ze względu na dużą liczbę potencjalnych klientów – przy ul. Marcelińskiej (nr 10), Dąbrowskiego (nr 18), Strusia (nr 28)

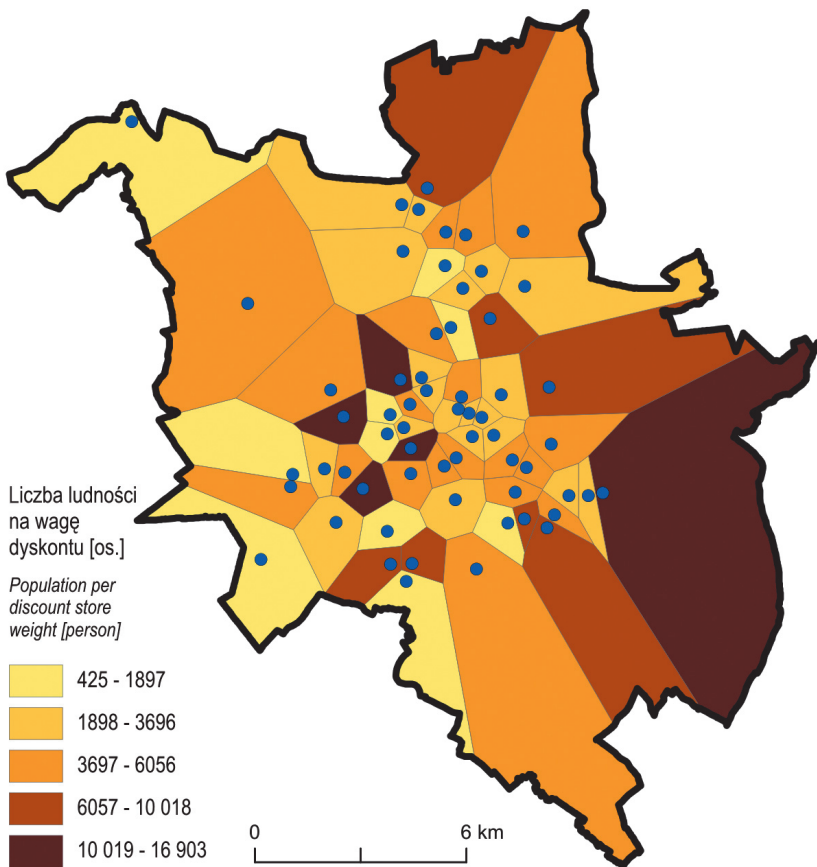


Ryc. 5. Zróżnicowanie przestrzenne przeciętnego dystansu do najbliższego dyskontu Biedronka z miejsc zamieszkania ludności na terenie Poznania (klasy wydzielono na podstawie metody naturalnych przerw – tzw. metody Jenksa)

Spatial differences in average distance to nearest *Biedronka* discount store from place of residence of Poznań inhabitants (with break values defined in line with the Jenks method)

i Sielskiej (nr 43). Znaczna liczba ludności przypadająca na wielkość dyskontu charakteryzuje ponadto komórkę 52 – ze sklepem przy ul. Piaśnickiej. Wynika to jednak z bardzo dużej powierzchni tej komórki, obejmującej swoim zasięgiem wschodnie obszary przygraniczne Poznania (por. ryc. 6).

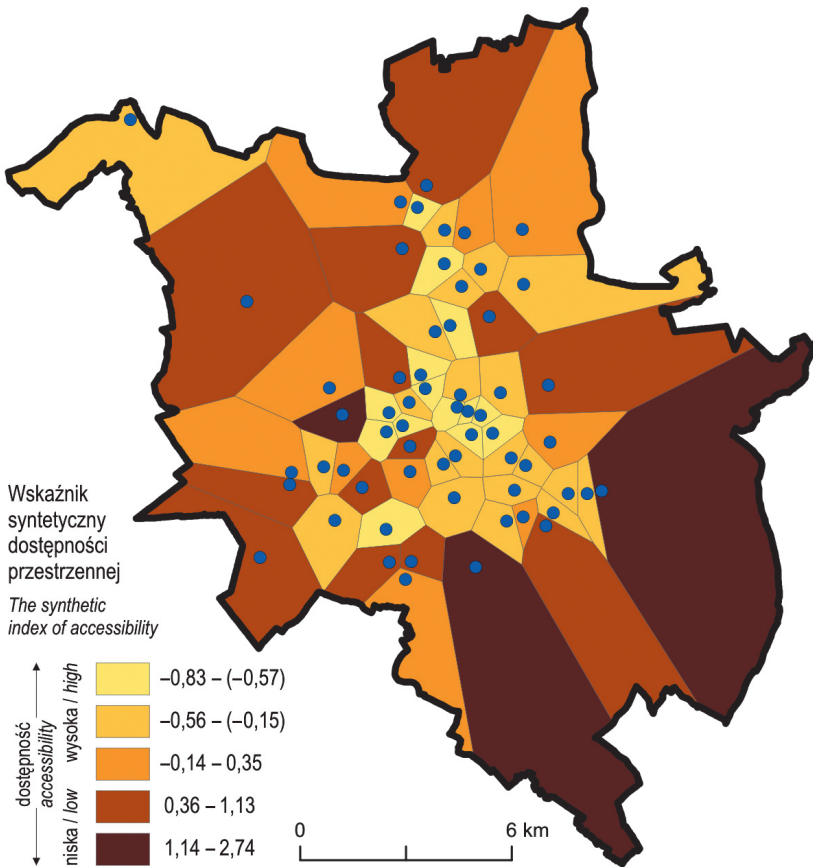
Ostateczny poziom dostępności przestrzennej dyskontów sieci Biedronka na terenie Poznania określono za pomocą wskaźnika syntetycznego, bazującego na omówionych powyżej miarach. Graficzny obraz zmienności przestrzennej poziomu dostępności uwiidocznia, co do zasady, wyższą dostępność w centralnych lokalizacjach, a niższą na obszarach peryferyjnych, z minimalnym poziomem



Ryc. 6. Zróżnicowanie przestrzenne wskaźnika liczby ludności przypadającej na wielkość dyskontu Biedronka (wagę sklepu) na terenie Poznania (klasy wydzielono na podstawie metody naturalnych przerw – tzw. metody Jenksa)

Spatial differences for the indicator of population per class size of *Biedronka* discount stores (weighting of stores) in Poznań (with break values defined in line with the Jenks method)

w południowo-wschodniej części miasta. Zauważalne jest ponadto lokalne zróżnicowanie, będące efektem z jednej strony rozmieszczenia ludności, a z drugiej – nagromadzenia i wielkości sklepów w poszczególnych częściach miasta. Wyjątki od generalnych prawidłowości dotyczą: (1) niewielkich fragmentów na północy miasta (wokół Biedronek przy ul. Lechickiej – nr 32 i Stróżyńskiego – nr 55), wyróżniających się stosunkowo wysokim poziomem dostępności przestrzennej oraz (2) umiarkowanie od centrum oddalonych okolic o niskim, jak na swoją lokalizację, poziomie badanego zjawiska (wieloboki w otoczeniu sklepów przy ul. Marcelińskiej – nr 10, Strusia – nr 28, Dąbrowskiego – nr 18 i Sielskiej – nr 30) (por. ryc. 7).



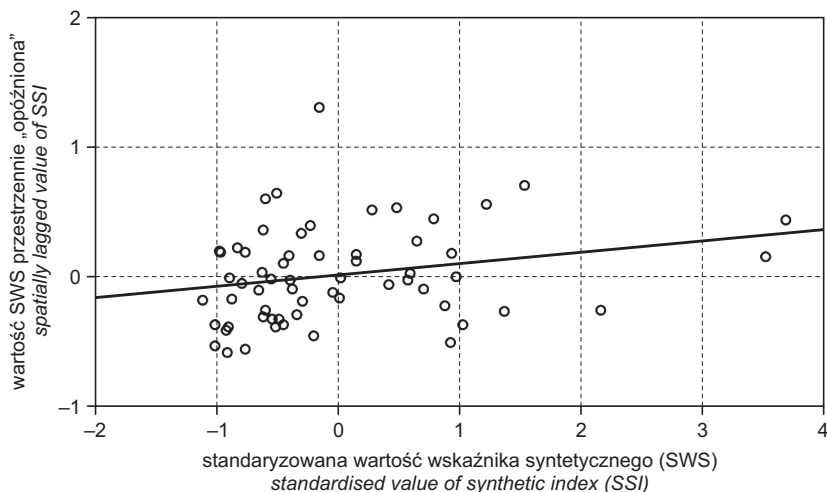
Ryc. 7. Zróżnicowanie przestrzenne poziomu dostępności dyskontów Biedronka na terenie Poznania – klasyfikacja na podstawie wartości wskaźnika syntetycznego (klasy wydzielono na podstawie metody naturalnych przerw – tzw. metody Jenksa)

Spatial differences in the accessibility level of *Biedronka* discount stores in Poznań – classification based on a synthetic index (with break values defined in line with the Jenks method)

Autokorelacja i reżimy przestrzenne a lokalizacja dyskontów

Dopełnieniem przeprowadzonych badań było rozpoznanie zależności przestrzennych polegające na empirycznej weryfikacji hipotezy o losowym rozmieszczeniu obszarów (komórek diagramu) o różnych poziomach dostępności przestrzennej, skwantyfikowanych w postaci wskaźnika syntetycznego. Wskaźnik ma charakter destymulacyjny – jego niskie wartości odpowiadają wysokiemu poziomowi dostępności, a wysokie – poziomowi niskiemu.

Globalny indeks Morana wyniósł 0,12 (p -value=0,068414) i wskazywał, że o ile przeważała tendencja do grupowania jednostek o podobnych poziomach dostępności przestrzennej w całym badanym zbiorze, o tyle zależności te nie były wyraźne w sensie statystycznym (prawdopodobieństwo błędu przekraczało najczęściej przyjmowaną wartość krytyczną 5%). Obraz zidentyfikowanych relacji przestrzennych przedstawiono w formie wykresu rozproszenia (ryc. 8). Najczęściej występujące wzorce sprowadzały się do sytuacji, w których wysokim wartościom badanej zmiennej w danej komórce towarzyszą wysokie jej wartości w sąsiedniej i analogicznie – niskim towarzyszą niskie. Równocześnie można zauważyć stosunkowo dużą liczbę obserwacji nietypowych (punkty w II i IV ćwiartce) z ekstremalnie odstającymi od dodatnio autokorelacyjnej tendencji punktami reprezentującymi dyskonty przy ul. 28 Czerwca 1956 r. (nr 47) w II ćwiartce i ul. Strusia (nr 28) w ćwiartce IV.

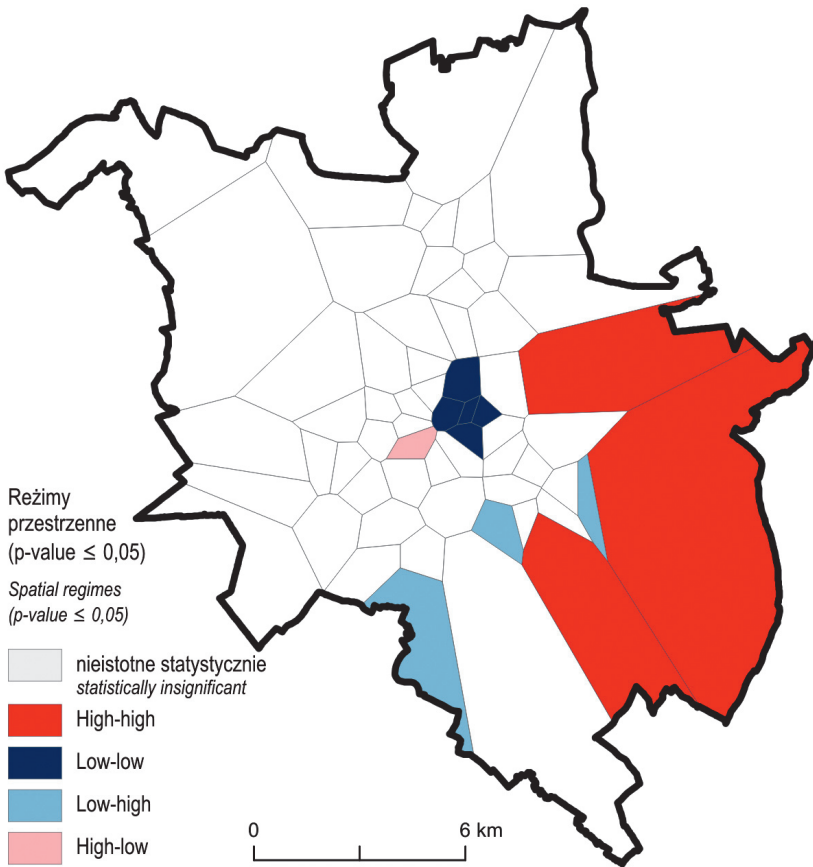


Ryc. 8. Moranowski wykres rozproszenia dla wskaźnika syntetycznego dostępności przestrzennej

A Moran scatter plot for the synthetic index of accessibility

Lokalne miary autokorelacji uwiaryściły reżimy przestrzenne o istotnym statystycznie podobieństwie lub dysproporcjach pomiędzy poszczególnymi komórkami a ich otoczeniem (klastrów i obserwacji odstających) (por. ryc. 9).

Zwarty homogeniczny obszar o niskich wartościach wskaźnika syntetycznego (LL) występuje w śródmieściu. Centrum tego skupienia stanowi komórka nr 20 reprezentująca Biedronkę przy ul. Święty Marcin 32, a cały układ obejmuje dodatkowo komórki nr 5, 15, 19 i 53 odnoszące się odpowiednio do dyskontów



Ryc. 9. Reżimy przestrzenne wyznaczone na podstawie analizy lokalnej autokorelacji przestrzennej wskaźnika syntetycznego dostępności dyskontów Biedronka w Poznaniu
Spatial regimes determined using local spatial autocorrelation for the synthetic index of accessibility of *Biedronka* discount stores in Poznań

z ul. Libelta (północ), Święty Marcin 66 (zachód), pl. Wiosny Ludów (wschód) i Półwiejskiej (południe). Obszar ten pokrywa się ze ścisłym centrum miasta. Zidentyfikowany tu wzorzec przestrzennych relacji można ocenić jako najlepszy z punktu widzenia dopasowania lokalizacji sklepów do rozmieszczenia ludności. Należy jednak dodać, że wymienione dyskonty są jednymi z najmniejszych w Poznaniu, co może przekładać się na ograniczony ilościowo i rodzajowo asortyment. Ponadto osiągalność sklepów w centralnej części miasta może być ograniczana z racji korzystania z nich nie tylko mieszkańców śródmieścia Poznania, lecz również pracujących tam osób, studiujących czy odwiedzających miasto turystów.

Reżim przestrzenny jednostek o wysokich wartościach (HH) można zaobserwować we wschodniej części miasta (rejon Biedronek z ul. Małachowskiego – nr 8, Piaśnickiej – nr 52 i os. Orła Białego – nr 41). Jest to jednorodny obszar cechujący się relatywnie niskim poziomem dostępności przestrzennej dyskontów sieci Biedronka. Wyodrębniony układ przestrzenny powinien być traktowany priorytetowo, w kontekście planowania uruchomienia nowych obiektów handlowych przez Jerónimo Martins. Potencjał ludnościowy tych obszarów, w połączeniu z dużymi odległościami, jakie muszą aktualnie pokonywać ich mieszkańcy do najbliższych sklepów sieci dają podstawy rentownej inwestycji i zwiększenia przez sieć udziału w rynku.

Statystyki LISA umożliwiły ponadto identyfikację obszarów o kontrastowych relacjach między daną komórką a jej sąsiadami. Obserwacją odstającą, z otoczenia o niskich wartościach wskaźnika syntetycznego, a więc tworzącą wzorzec typu HL, jest komórka dyskontu nr 28 (ul. Strusia). Teoretycznie, dysproporcje między tą jednostką a jej sąsiedztwem mogą skłaniać potencjalnych klientów (ludność zamieszkującą tę komórkę) do wyboru innych, pobliskich dyskontów o relatywnie mniejszym obciążeniu i wyższym poziomie dostępności przestrzennej. Duża liczba ludności zamieszkująca obszar omawianej komórki diagramu może być przesłanką do powiększenia istniejącego sklepu lub nawet uzasadniać powstanie w tym miejscu kolejnego dyskontu.

Wreszcie, udało się zlokalizować niewielkie, ale istotne statystycznie wyspy typu LH – wzorzec taki dotyczy komórek nr 38, 47 i 51 (odpowiednio odnoszących się do dyskontów przy ul. Starołęckiej, 28 Czerwca 1956 r. i os. Czecha). Jako że cechują się one wysokim poziomem dostępności przestrzennej, nasuwa się pytanie, czy nie są one wybierane jako alternatywne miejsce zakupów względem sklepów z otoczenia o utrudnionym (przeważnie niskim) dostępie. W związku z tym sieć mogłaby rozważyć rozbudowę powierzchni sprzedażowej wspomnianych dyskontów, aby uniknąć nadmiernego obciążenia i utrudnionej osiągalności świadczonych usług.

Trzeba pamiętać, że zbudowany diagram uwzględni sklepy położone w granicach administracyjnych Poznania. W nielicznych przypadkach uwzględnienie dyskontów z sąsiednich miejscowości zmodyfikowałoby konfigurację peryferyjnych komórek diagramu. Ostateczne decyzje lokalizacyjne i organizacyjne powinny więc być poprzedzone analizą dyskontów funkcjonujących w sąsiedztwie granic Poznania⁴ oraz otoczenia konkurencyjnego.

⁴ Uwzględnienie sklepów z sąsiednich lokalizacji uniemożliwiłoby przeprowadzenie zaplanowanej procedury badawczej ze względu na brak aktualnych danych dotyczących rozmieszczenia ludności w gminach podmiejskich Poznania.

Zakończenie

Przeprowadzone badania potwierdziły przydatność diagramu Woronoja w analizie rozmieszczenia i dostępności placówek handlowych. Transformacja układu punktów w diagram z komórkami o charakterze powierzchniowym umożliwia identyfikację zależności i prawidłowości przestrzennych służących analizie poziomu dostępności, nieosiągalnych przy użyciu metod właściwych dla obiektów punktowych. Równocześnie nie jest konieczna agregacja danych w ramach większych jednostek (np. jednostek podziału administracyjnego), co przekłada się na ograniczenie tzw. problemu wielkości jednostki odniesienia (ang. *modifiable areal unit problem* – *MAUP*), polegającego na fałszowaniu obrazu faktycznego (lokalnego) zróżnicowania przestrzennego zjawisk społeczno-gospodarczych poprzez generalizację wskaźników w ramach dużych jednostek badawczych (por. Openshaw, 1983).

Ze względu na przyjęty zakres przestrzenny badania, ograniczony do granic administracyjnych miasta, zasięgi rynkowe poszczególnych sklepów wyznaczone na podstawie komórek diagramu mają charakter tylko teoretyczny. Biorąc jednak pod uwagę metodyczny charakter opracowania (prezentacja możliwości zastosowania metody), powyższe uproszczenie nie miało wpływu na realizację celu pracy.

W świetle uzyskanych wyników stwierdzono, że pomimo wysokiego stopnia dopasowania rozmieszczenia dyskontów do rozmieszczenia ludności w Poznaniu, wciąż występują miejsca, w których dostępność sklepów Biedronka może być niewystarczająca. Obraz obszarów, w których brakuje dyskontów sieci, uzyskano drogą analizy reżimów przestrzennych wyznaczonych przez lokalne statystyki autokorelacji przestrzennej.

Przedstawione badania są jednymi z nielicznych w polskiej literaturze przestrzenno-ekonomicznej, w których zastosowano diagram Woronoja do analizy zmienności przestrzennej zjawisk społeczno-gospodarczych. Tym samym wypełniają pewną lukę obserwowaną w odniesieniu do bogatej w tym względzie literatury zagranicznej. Nie wyczerpują jednak złożoności problemu przestrzennych aspektów dostępności placówek handlowych, jak również innych możliwości wykorzystania diagramu. Dalsze badania mogłyby zostać skoncentrowane na problemie konstrukcji diagramów ważonych (por. Boots, 1980; Dong, 2008), uwzględnieniu otoczenia konkurencyjnego i pogłębieniu analiz o ankietyzację klientów (identyfikację realnego popytu, faktycznych miejsc zamieszkania klientów, środków transportu czy rodzaju kupowanych produktów).

Piśmiennictwo / References

- Abellanas M., Lillo I., López M.D., Rodrigo J., 2006, *Electoral strategies in a dynamical democratic system. Geometric models*, European Journal of Operational Research, 175, 2, s. 870-878.
- Angowski M., Lipowski M., 2014, *Przewagi konkurencyjne sklepów dyskontowych w ocenach nabywców artykułów żywnościowych*, Marketing i Rynek, 8, s. 797-803.
- Anselin L., 1995, *Local Indicators of Spatial Association – LISA*, Geographical Analysis, 27, 2, s. 93-115.
- Aurenhammer F., 1991, *Voronoi diagrams – A survey of a fundamental geometric data structure*, ACM Computing Surveys, 23, 3, s. 345-405.
- Aurenhammer F., Klein R., 2000, *Voronoi diagrams*, [w:] J.R. Sack, J. Urrutia (red.), *Handbook of Computational Geometry*, Elsevier Science B.V., North-Holland, s. 201-290.
- Awramiuk-Godun A., 2013, *Rozmieszczenie obiektów sakralnych jako kryterium wyznaczania zasięgu krajobrazu pogranicza kulturowego*, Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego, 19, s. 62-72.
- Bivand R., 1980, *Autokorelacja przestrzenna a metody analizy statystycznej w geografii*, [w:] Z. Chojnicki (red.), *Analiza regresji w geografii*, PWN, Poznań, s. 23-38.
- Boots B.N., 1980, *Weighting Thiessen polygons*, Economic Geography, 56, 3, s. 248-257.
- Boots B.N., 1987, *Modifying Thiessen polygons*, Canadian Geographer, 31, 2, s. 160-169.
- Brassel K.E., Reif D., 1979, *A procedure to generate Thiessen polygons*, Geographical Analysis, 11, 3, s. 289-303.
- Budner W., 2014, *Handel w rozwoju miasta*, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, Poznań.
- Butler B.J., Hewes J.H., Liknes G.C., Nelson M.D., Snyder S.A., 2014, *A comparison of techniques for generating forest ownership spatial products*, Applied Geography, 46, s. 21-34.
- Chudak M., 2014, *Ocena lokalizacji placówek handlu sieciowego w mieście o funkcji turystyczno-wypoczynkowej na przykładzie Karpacza*, [w:] R. Masztalski (red.), *Współczesne funkcje handlowe w wybranych małych miastach województwa dolnośląskiego*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, s. 78-88.
- Czerwiński S., 2012a, *Centra handlowe – główne problemy badawcze*, Studia Miejskie, 8, s. 171-188.
- Czerwiński S., 2012b, *Handel wielkopowierzchniowy Wrocławia – stan obecny i perspektywa rozwoju*, [w:] D. Ilnicki, K. Janc (red.), *Badania regionalnych i lokalnych struktur funkcjonalno-przestrzennych*, Rozprawy Naukowe Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego, 29, s. 155-179.
- Dirichlet P.G.L., 1850, *Über die Reduction der positiven quadratischen Formen mit drei unbestimmten ganzen Zahlen*, Journal für die reine und angewandte Mathematik, 40, s. 209-227.
- Domański T., 2001, *Strategie marketingowe dużych sieci handlowych*, PWN, Warszawa-Łódź.
- Domański T., 2005, *Strategie rozwoju handlu*, PWE, Warszawa.
- Dong P., 2008, *Generating and updating multiplicatively weighted Voronoi diagrams for point, line and polygon features in GIS*, Computers & Geosciences, 34, s. 411-421.
- Duyckaerts Ch., Godefroy G., 2000, *Voronoi tessellation to study the numerical density and the spatial distribution of neurons*, Journal of Chemical Neuroanatomy, 20, 1, s. 83-92.

- Dzieciuchowicz J., 2012a, *Nowa geografia handlu*, Acta Universitatis Lodziensis. Folia Geographica Socio-Oeconomica, 12, s. 37-53.
- Dzieciuchowicz J., 2012b., *Wielkie centrum handlowe w przestrzeni miejskiej i poza-miejskiej. Manufaktura w Łodzi i Ptak w Rzgowie*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Dzieciuchowicz J., 2013, *Handel w przestrzeni wielkomiejskiej. Przykład Łodzi*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Fortune S., 1995, *Voronoi diagrams and Delaunay triangulations*, [w:] D.Z. Du, F. Hwang (red.), *Computing in Euclidean Geometry*, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore-New Jersey-London-Hong Kong, s. 193-233.
- Gething P.W., Noorc A.M., Zurovac D., Atkinson P.M., Hayc S.I., Nixon M.S., Snow R.W., 2004, *Empirical modelling of government health service use by children with fevers in Kenya*, Acta Tropica, 91, s. 227-237.
- Gwosdz K., Sobala-Gwosdz A., 2008, *Geografia hipermarketów w Polsce: strategie lokalizacyjne i ich skutki przestrzenne*, Przegląd Geograficzny, 80, 4, s. 515-539.
- Ilnicki D., 2014, *Usługi w polskiej literaturze przedmiotu. Ujęcie chronologiczno-tematyczne*, [w:] E. Klima (red.), *Ludność, Mieszkalnictwo, Usługi – w 70. rocznicę urodzin Profesora Jerzego Dzieciuchowicza. Population, Housing, Services – 70th Anniversary of Professor Jerzy Dzieciuchowicz*, Space-Society-Economy, 13, Department of Population and Services Studies, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, s. 203-246.
- Janc K., 2006, *Zjawisko autokorelacji przestrzennej na przykładzie statystyki I Morana oraz lokalnych wskaźników zależności przestrzennej (LISA) – wybrane zagadnienia metodyczne*, [w:] T. Komornicki, Z. Podgórski (red.), *Idee i praktyczny uniwersalizm geografii*, Dokumentacja Geograficzna, 33, IGiPZ PAN, Warszawa, s. 76-83.
- Jarosz A., 2002, *Miejsce hipermarketów w przestrzeni aglomeracji miejskiej*, [w:] G. Węclawowicz (red.), *Warszawa jako przedmiot badań w geografii społeczno-ekonomicznej*, Prace Geograficzne, IGiPZ PAN, 184, Warszawa, s. 253-264.
- Kaczmarek T., 2010, *Struktura przestrzenna handlu detalicznego. Od skali globalnej do lokalnej*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Karimi F., Delavar M., Mostafavi M., 2009, *Space allocation of educational centers using multiplicatively weighted Voronoi diagram*, ISPRS COST Workshop on Quality Scale and Analysis Aspects of City Models, Lund.
- Kisiała W., 2011, *Organizacja przestrzenna systemu ratownictwa medycznego w Polsce*, Instytut Geografii Społeczno-Ekonomicznej i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, maszynopis.
- Kisiała W., Rudkiewicz M., 2016, *Dostępność przestrzenna sklepów dyskontowych sieci Biedronka na terenie miasta Poznania*, Handel Wewnętrzny, 6(365), s. 103-117.
- Kłosowski F., 2002, *Hipermarkety w przestrzeni handlowej miast aglomeracji katowickiej*, [w:] J. Ślódczyk (red.), *Przemiany bazy ekonomicznej i struktury przestrzennej miast*, Uniwersytet Opolski, Opole, s. 373-382.
- Kopczewska K., 2008, *Renta geograficzna a rozwój społeczno-gospodarczy*, Wydawnictwo CeDeWu, Warszawa.
- Kopczewska K., 2010, *Modele zmian stopy bezrobocia w ujęciu przestrzennym*, Wiadomości Statystyczne, 5, s. 26-40.
- Kossowski T., 2010, *Teoretyczne aspekty modelowania przestrzennego w badaniach regionalnych*, Biuletyn Instytutu Geografii Społeczno-Ekonomicznej i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza, Seria Rozwój Regionalny i Polityka Regionalna, 12, s. 9-26.

- Koźniewski E., Orłowski M., 2011, *Obszary efektywnego zasięgu betonowni*, Budownictwo i Inżynieria Środowiskowa, 2, 4, s. 531-540.
- Lerchenmuller M., 1992, *Handelsbetriebslehre*, Kiehl Verlag Ludwigshafen, Rhein.
- Liu X., Zheng X., Li D., 2009, *Voronoi Diagram-Based Research on Spatial Distribution Characteristics of Rural Settlements and Its Affecting Factors – A Case Study of Changping District, Beijing*, Journal of Ecology and Rural Environment, 25, 2, s. 30-33.
- Longley P., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W., 2008, *GIS. Teoria i praktyka*, PWN, Warszawa.
- Maleszyk E., 1999, *Rozwój hipermarketów, supermarketów i sklepów dyskontowych z kapitałem zagranicznym*, Wiadomości Statystyczne, 44, 6, s. 44-52.
- Maleszyk E., 2004, *Uwarunkowania i kierunki rozwoju handlu dyskontowego*, Gospodarka Narodowa, 7-8, s. 1-18.
- Maleszyk E., 2005a, *Handel dyskontowy w Polsce*, Wiadomości Statystyczne, 5, s. 36-42.
- Maleszyk E., 2005b, *Sieci dyskontowe na rynku artykułów żywnościowych*, Poradnik Handlowca, 2 (wydanie elektroniczne, <http://poradnikhandlowca.com.pl/archiwum/archiwum/old/2005/02>, dostęp: 15.06.2016).
- Maleszyk E., 2006, *Przesłanki rozwoju i organizacji handlu dyskontowego w Polsce*, Handel Wewnętrzny, 52, 1(300), s. 8-21.
- Moise I.K., Kalipeni E., Zulu L.C., 2011, *Analyzing geographical access to HIV sentinel clinics in relation to other health clinics in Zambia*, Journal of Map and Geography Libraries, 7, 3, s. 254-281.
- Namysłak B., 2006, *Rozwój wielkopowierzchniowych obiektów handlowych we Wrocławiu*, [w:] I. Jażdżewska (red.), *Nowe przestrzenie w miastach. Ich organizacja i funkcje, XIX Konwersatorium Wiedzy o Mieście*, Uniwersytet Łódzki, Łódź, s. 265-276.
- Okabe A., Boots B., Sugihara K., Chiu S.N., 2009, *Spatial Tessellations: Concepts and Applications of Voronoi Diagrams*, John Wiley & Sons, Chichester-New York-Weinheim-Brisbane-Singapore-Toronto.
- Openshaw S., 1983, *The Modifiable Areal Unit Problem*, Geo Books, Norwich.
- Park S.J., 2012, *Measuring public library accessibility: A case study using GIS*, Library and Information Science Research, 34, 1, s. 13-21.
- Pearce J., 2000, *Techniques for defining school catchment areas for comparison with census data*, Computers, Environment and Urban Systems, 24, 4, s. 283-303.
- Preparata F.P., Shamos M.I., 2003, *Geometria obliczeniowa. Wprowadzenie*, Helion, Gliwice.
- Suchecki B., Olejnik A., 2010, *Miary i testy statystyczne w eksploracyjnej analizie danych przestrzennych*, [w:] B. Suchecki (red.), *Ekonometria przestrzenna. Metody i modele analizy danych przestrzennych*, Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa, s. 100-128.
- Szumilas A., 2011, *Rozwój sieci sklepów dyskontowych w Polsce*, Prace Naukowe Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie, Pragmata Tes Oikonomias, 5, s. 129-135.
- Tanser F., Gijssbertsen B., Herbst K., 2006, *Modelling and understanding primary health care accessibility and utilization in rural South Africa: An exploration using a geographical information system*, Social Science & Medicine, 63, s. 691-705.
- Taylor Z., 2000, *Przekształcenia sieci handlu detalicznego i gastronomii w okresie transformacji społeczno-gospodarczej Polski*, Prace Geograficzne, 175, IGiPZ PAN, Wydawnictwo Continuo, Wrocław.
- Tayyebi A., Pekin B.K., Pijanowski B.C., Plourde J.D., Doucette J.S., Braun D., 2013, *Hierarchical modeling of urban growth across the conterminous USA: Developing meso-scale quantity drivers for the Land Transformation Model*, Journal of Land Use Science, 8, 4, s. 422-442.

- Thiessen A., 1911, *Precipitation averages for large areas*, Monthly Weather Review, 39, 7, s. 1082-1089.
- Tobler W., 1970, *A computer model simulating urban growth in Detroit region*, Economic Geography, 42, 2, s. 234-240.
- Twigg L., 1990, *Health based geographical information systems: Their potential examined in the light of existing data sources*, Social Science & Medicine, 30, s. 143-155.
- Wang J., Kwan M.P., Ma L., 2014, *Delimiting service area using adaptive crystal-growth Voronoi diagrams based on weighted planes: A case study in Haizhu District of Guangzhou in China*, Applied Geography, 50, s. 108-119.
- Wang S., Sun L., Rong J., Yang Z., 2014, *Transit traffic analysis zone delineating method based on Thiessen polygon*, Sustainability (Switzerland), 6, 4, s. 1821-1832.
- Wang S.W., Sun L.S., Rong J., 2013, *Catchment area analysis of Beijing transit stations*, Jiaotong Yunshu Xitong Gongcheng Yu Xinxi / Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 13, 3, s. 183-188.
- West D.S., Ryan D.L., Von Hohenbalken B., 1988, *New competition in shopping-center hierarchies: an empirical comparison of alternative specifications*, Journal of Regional Science, 28, 3, s. 329-344.
- Wilk W., 2013a, *Koncepcja sieci a geografia zorganizowanego handlu detalicznego w Polsce*, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych UW, Warszawa.
- Wilk W., 2013b, *Miasta zbyt małe na handel z dyskontem*, Acta Universitatis Lodziensis, Folia Geographica Socio-Oeconomica, 15, s. 21-37.
- Woronoj G., 1908, *Nouvelles applications des paramètres continus à la théorie de formes quadratiques*, Journal für die reine und angewandte Mathematik, 134, s. 198-287.

[Wpłynęło: sierpień; poprawiono: grudzień 2016 r.]

WOJCIECH KISIAŁO, MAGDALENA RUDKIEWICZ

APPLICATION OF THE VORONOI DIAGRAM IN ANALYSING SPATIAL PATTERNS TO THE DISTRIBUTION OF DISCOUNT STORES AND ACCESS TO THEM

The aim of the work detailed here has been to achieve a methodological goal relating to methods, which focuses on the application of the Voronoi diagram in studying spatial aspects of the accessibility of retail stores. The Voronoi diagram is a partitioning of a plane into regions (cells) based on distances to points (seeds) in a specific subset of the plane. Each point located within a given cell of the diagram lies closer to the seed located in this cell than to any other seeds in the network. In the geographical literature, these are also often referred to as Thiessen polygons.

The objective set was accomplished by analysing the distribution and accessibility of discount stores of the *Biedronka* retail chain in the Polish city of Poznań. As of 30 June 2015, there were 61 *Biedronka* discount stores there, making this chain the city's largest.

The Voronoi diagram was used as a spatial frame of reference facilitating analysis of the distribution of these discount stores across the city. However, in-depth statistical study was conducted using indexing methods that estimate the level of accessibility, as

well as indicators of spatial autocorrelation. This allowed for the identification of spatial patterns to the distribution of attributes examined.

Taking into account two basic dimensions to the accessibility of services, i.e. proximity (a relationship between the distributions of supply and demand) and availability (a relationship between the volume and type of services offered and the volume and type of consumer needs), variables established for each cell of the diagram were: (1) average weighted distance from the place of residence to the nearest discount store and (2) the quotient of population size and store size (weight). These indicators provided for the determination of a synthetic index of accessibility, as the average of the values of the variables under study, which had previously undergone a standardisation procedure.

The synthetic indicator showing the level of accessibility of discount stores in particular cells of the diagram was used to measure spatial autocorrelation. Analysis allowed for the identification of spatial regimes which made it easier to evaluate the distribution of discount stores and indicate new potential locations on the basis thereof.

The results obtained showed that, notwithstanding the presence of a considerable number of *Biedronka* discount stores, mainly in the most densely-populated parts of the city, the accessibility of these discount stores across Poznań was diverse. The most favourable pattern for the spatial distribution of *Biedronka* discount stores as set against population distribution was identified in the central area of Poznań. In turn, a spatial regime characterised by a low level of accessibility was found to extend over large areas in the eastern part of the city.

The research showed that application of the Voronoi diagram facilitates analysis of the distribution and accessibility of retail stores. The transformation of a set of points into a diagram with cells of a polygon type permits the identification of spatial relations and regularities used in estimating accessibility. It would be impossible to achieve this were point-type methods to be applied.

The research discussed in this paper represents one of the few studies in Polish geographical or economic literature in which the spatial variability of social and economic phenomena is analysed to generate a Voronoi diagram. This situation stands in marked contrast to the vast body of foreign literature on this topic. This paper therefore helps bridge a substantial research gap in its field.

Aneks 1. Wykaz dyskontów sieci Biedronka funkcjonujących w Poznaniu w 2015 r.
The list of Biedronka discount stores operating in Poznań in 2015

ID	Adres / Address	Liczba koszy non-food Number of non-food baskets	Waga / Weight	ID	Adres / Address	Liczba koszy non-food Number of non-food baskets	Waga / Weight
1	ul. Sokoła 26	44	3	32	ul. Lechicka 59	60	4
2	ul. Piątkowska 78	101	5	33	Os. Bolesława Śmiałego 106	56	3
3	ul. Gronowa 26	37	2	34	ul. Kazimierza Wielkiego 1-3	37	2
4	ul. Kraszewskiego 30	12	1	35	ul. Połabska	52	3
5	ul. Libelta 5	1	1	36	ul. Bobrzańska 13	44	3
6	ul. Piaskowa 2/3	22	2	37	Os. Armii Krajowej 101	15	1
7	ul. Naramowicka 219	56	3	38	ul. Starołęcka 1	76	4
8	ul. Małachowskiego 14	20	2	39	ul. Książęca 60	25	2
9	ul. Polanka 22	14	1	40	Os. Stare Żegrze 15	29	2
10	ul. Marcelińska 77	16	1	41	Os. Orła Białego 5	6	1
11	ul. Matejki 62	22	2	42	ul. Żurawinowa 2	12	1
12	ul. Wojskowa 3	21	2	43	ul. Jesionowa 16	10	1
13	ul. Bukowska 121/123	41	3	44	ul. Wierzbicice 36/38	20	2
14	ul. Polna 41	53	3	45	ul. Dolna Wilda 104/106	41	3
15	ul. Święty Marcin 66/72	6	1	46	ul. Czechosłowacka 104	56	3
16	ul. Kościelna 30	25	2	47	ul. 28 Czerwca 1956 r. 384	85	5
17	ul. Dąbrowskiego 29	21	2	48	Os. Piastowskie 22	21	2
18	ul. Dąbrowskiego 81/85	3	1	49	Os. Rzeczypospolitej 43	23	2
19	Pl. Wiosny Ludów 2	39	2	50	Os. Jagiellońskie 14	20	2
20	ul. Święty Marcin 32	0	1	51	Os. Czecha 73	25	2
21	ul. Ściegiennego 64	14	1	52	ul. Piaśnicka / Os. Czecha 111	32	2
22	ul. Szadecka 2	34	2	53	ul. Półwiejska 47	11	1
23	ul. Grunwaldzka 216	57	3	54	Os. Bolesława Chrobrego 110	28	2
24	ul. Gwiaździsta	41	3	55	ul. Stróżyńskiego 21a	31	2
25	ul. Hallera 2a	49	3	56	Os. Jana III Sobieskiego 103	20	2
26	ul. Łukaszewicza 43	27	2	57	ul. Strzeszyńska 33	41	3
27	ul. Czarnieckiego 12	30	2	58	ul. Obornicka 334	47	3
28	ul. Strusia 12	16	1	59	ul. Naramowicka 106	56	3
29	ul. Sycowska 18	46	3	60	ul. Chojnicka 72/74	17	1
30	ul. Sielska 43	9	1	61	ul. Dąbrowskiego 399	41	3
31	Os. Zwycięstwa 110	42	3				