

Tomasz Pirowski  
Wojciech Drzewiecki

## WYBRANE PROBLEMY MODELOWANIA PRZESTRZENNYCH INTERAKCJI ZACHOWAŃ KONSUMENTÓW Z WYKORZYSTANIEM GIS

### 1. Teoretyczne podstawy modelowania interakcji przestrzennych

Próby modelowania interakcji przestrzennych podejmowane są od bardzo dawna. Zapoczątkowane zostały w roku 1858 wraz ze sformułowaniem przez Carey'a modelu grawitacyjnego [Carrothers 1956, Wilson 2000]. W zagadnieniach związanych z handlem detalicznym model ten zastosowano po raz pierwszy w roku 1929 do określenia zasięgu rynków [Reilly 1929]. Większość wczesnych zastosowań modelu grawitacyjnego dotyczyła modelowania przepływów pomiędzy miastami, a za odpowiednik masy ze wzoru Newtona służyła ilość mieszkańców.

W roku 1942 Stewart wprowadził pojęcie potencjału definiowanego jako możliwość interakcji i określonego wzorem:

$$V_{ij} = P_j / d_{ij}^2, \quad [1]$$

gdzie:

$V_{ij}$  – jednostkowy potencjał interakcji (np. dla pojedynczej osoby) pomiędzy lokalizacjami  $i$  oraz  $j$ ;

$P_j$  – ilość mieszkańców w lokalizacji  $j$ ;

$d_{ij}$  – odległość od punktu  $i$  do punktu  $j$ .

Rozwój tradycyjnego modelu grawitacyjnego postępował w dwóch kierunkach [Wilson 2000]. Związane one były z poszukiwaniem optymalnego odpowiednika „masy” (licznik równania [1]) i odległości (mianownik równania [1]).

W roku 1964 Harris zastąpił populację ( $P_j$ ) wielkością sprzedaży detalicznej w mieście. Modyfikacja „odległości” ( $d_{ij}$ ) początkowo polegała na zmianie wykładnika w mianowniku poprzez zastąpienie kwadratu parametrem  $\beta$ , a następnie w ogóle funkcji potęgowej dowolną funkcją  $c_{ij} = f(d_{ij})$ . Wreszcie zaczęto poszukiwać odpowiedniej miary „odległości”, używając np. czasu czy kosztu podróży.

Modele matematyczne, stosowane współcześnie do wspierania decyzji przestrzennych w dziedzinie handlu detalicznego (opisu zachowań konsumentów), uwzględniają trzy główne czynniki: popyt, podaż oraz interakcje przestrzenne [Birkin i in., 1996]. Ich ogólna postać przybiera formę [Birkin i in., 1996]:

$$S_{ij} = A_i \cdot O_i \cdot W_j \cdot f(c_{ij}), \quad [2]$$

gdzie:

$S_{ij}$  – przepływ ludzi lub pieniędzy ze strefy zabudowy  $i$  do punkty sprzedaży  $j$ ;

$O_i$  – miara popytu w obszarze  $i$ ;

$W_j$  – miara atrakcyjności punktu sprzedaży  $j$ ;

$c_{ij}$  – miara odległości lub kosztu podróży pomiędzy  $i$  a  $j$ ;

$A_i$  – czynnik równoważący uwzględniający konkurencję mający postać:

$$A_i = 1 / \sum (W_j \cdot f(c_{ij})). \quad [3]$$

Modele tego rodzaju opierają się na dwóch podstawowych założeniach. Po pierwsze zakłada się, iż przepływ jest proporcjonalny do względnej atrakcyjności danego punktu sprzedaży w stosunku do wszystkich innych tego rodzaju punktów oraz, po drugie, że przepływ jest proporcjonalny do względnej dostępności danego punktu sprzedaży w stosunku do wszystkich innych tego rodzaju punktów. Preferencje klientów nie są jednak ściśle zdeterminowane (np. kiedy punkty sprzedaży są równie atrakcyjne klient nie zawsze wybiera łatwiej dostępny), a co za tym idzie model posiadać musi zdolność odzwierciedlenia stochastycznej natury zachowań konsumentów [Birkin i in. 1996].

Wilson [2000] proponuje stosowanie modelu w postaci:

$$S_{ij} = A_i \cdot e_i \cdot P_i \cdot W_j^\alpha \cdot \exp(-\beta \cdot c_{ij}), \quad [4]$$

gdzie:

$S_{ij}$  – przepływ ludzi lub pieniędzy ze strefy zabudowy  $i$  do punkty sprzedaży  $j$ ,

$E_i$  – wielkość wydatków na osobę w strefie zabudowy  $i$ ,

$P_i$  – populacja strefy zabudowy  $i$ ,

$W_j$  – miara atrakcyjności punktu sprzedaży  $j$  (Wilson proponuje jako miarę atrakcyjności wielkość powierzchni handlowej podniesioną do potęgi  $\alpha$ ),

$c_{ij}$  – miara kosztu podróży pomiędzy  $i$  a  $j$ ,

$\alpha, \beta$  – współczynniki,

$A_i$  – czynnik równoważący uwzględniający konkurencję mający postać

$$A_i = 1 / \sum (W_j^\alpha \cdot \exp(-\beta \cdot c_{ij})). \quad [5]$$

Tego rodzaju model stosowany być może do optymalizacji lokalizacji inwestycji. Także wtedy kiedy na rynku mamy do czynienia z konkurencją – uwzględnić możemy wpływ istniejących i/lub przewidywanych konkurencyjnych punktów sprzedaży.

## 2. Przykład analizy

W naszych dotychczasowych badaniach, podejmując próbę oceny względnej pozycji rynkowej krakowskich marketów (stan z lipca 2000), skupiliśmy się na roli, jaką odgrywa w przedstawionym wyżej modelu (wzór [4]) funkcja kosztu podróży  $f(c_{ij})$  pomiędzy strefą zabudowy  $i$  a punktem sprzedaży  $j$ .

W modelu przyjęliśmy za miarę kosztu czas podróży. Interesowało nas pytanie, czy – a jeśli tak – to w jakim stopniu, wynik analiz będzie zależał od przyjętej funkcji modyfikującej rozkład kosztu  $f(c_{ij})$ .

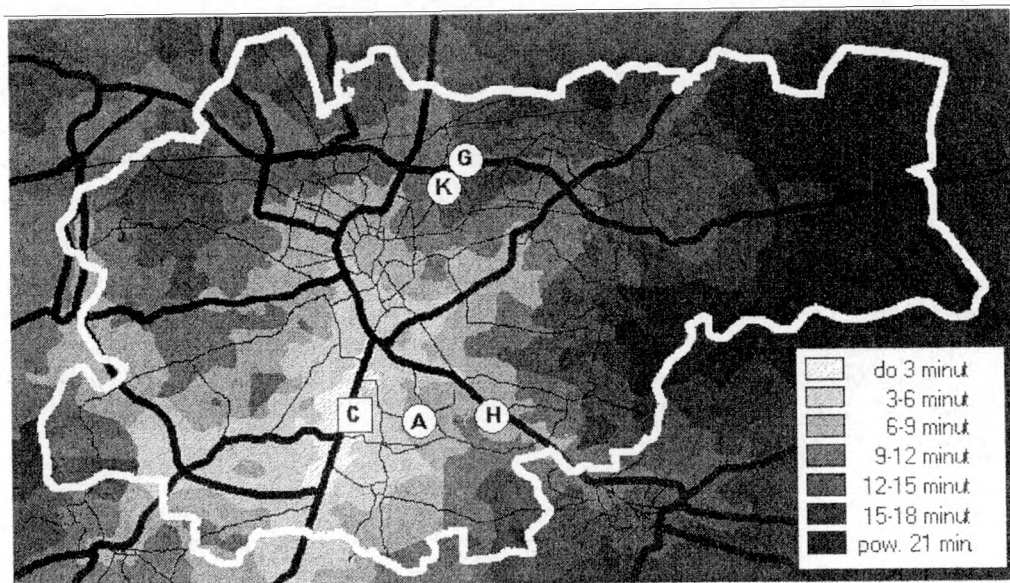
Do obliczeń czasu podróży wykorzystano sieć dróg pochodzącą z Komputerowego Atlasu Województwa Krakowskiego [Bujakowski i in., 1998]. Przyjęto średnie prędkości poruszania się po drogach wg tabeli 1.

Tabela 1. Założone średnie prędkości poruszania się po drogach.

Kategoria	Rodzaj dróg	Km/h
1.	Krajowe	60
2.	Wojewódzkie	60
3.	Drugorzędne	40
4.	ul. Wojewódzkie	30
5.	Ulice	20
9.	autostrada i obwodnica	120

Modelowanie przeprowadziliśmy na danych rastrowych przy użyciu pakietu IDRISI 32 [Eastman, 1999]. Chociaż analizy dostępne w przypadku modelu rastrowego nie są w stanie sprostać zaawansowanemu modelowaniu sieci, to jednak w niektórych zastosowaniach mogą one przewyższyć możliwościami inne metody obliczeń. Wykorzystanie funkcji związanych z analizami sąsiedztwa, przede wszystkim funkcji skumulowanego kosztu, umożliwia dokonywanie modelowania zbliżonego do analiz sieciowych [Drzewiecki, Hejmanowska, Pirowski, 1999]. Jednocześnie stosowanie rastrowego modelu danych daje możliwość prognozowania przestrzennego rozkładu symulowanego zjawiska na całym obszarze miasta (patrz załączone rysunki).

W pierwszym kroku dla każdego fragmentu dróg (pojedynczego piksela drogi) obliczono czasy dotarcia do poszczególnych marketów ( $c_{ij}$ ). Obszarom pozostałym leżącym poza drogami przypisano wartości położonego najbliższego piksela drogi, uwzględniając bariery bezwzględne, takie jak rzeki i linie kolejowe. Rys. 1. przedstawia przykład obliczonej w ten sposób mapy czasów dotarcia do hipermarketu Carrefour.



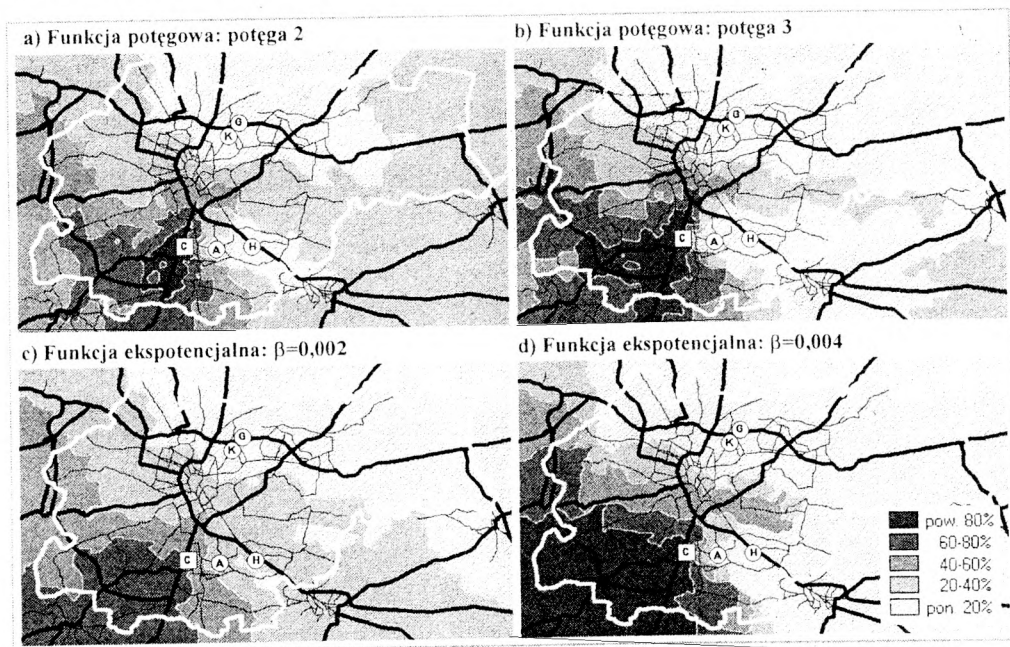
Rys.1.: Mapa 3-minutowych izochron dotarcia do hipermarketu Carrefour w Krakowie (ruch samochodowy). Analizowane markety oznaczono odpowiednio: C - Carrefour, A - Allkauf, G - Geant, H - Hit, K - Krakchemia.

Wygenerowane mapy czasu dotarcia zmodyfikowano stosując wybrane funkcje  $f(c_{ij})$ . Rozpatrywaliśmy dwie przykładowe funkcje eksponentjalne ( $e^{-0,004 \cdot c_{ij}}$  oraz  $e^{-0,002 \cdot c_{ij}}$ ) i dwie funkcje potęgowe ( $c_{ij}^2$  oraz  $c_{ij}^3$ ). Ostatni etap modelowania polegał na uwzględnieniu atrakcyjności marketu  $W_j$  (zobacz tabela 2.) oraz uwzględniającego konkurencję czynnika równoważającego  $A_j$ . Atrakcyjność przyjęto w oparciu o szacowaną wielkość powierzchni handlowej.

Tabela 2. Przyjęta atrakcyjność punktu sprzedaży

Market (j)	Atrakcyjność ( $W_j$ )
Allkauf	1
Carrefour	2
Geant	2
Hit	1.5
Krakchemia	1

Porównanie uzyskanych dla każdego marketu udziałów rynku (rys.2) dało możliwość zaobserwowania potencjalnych rejonów dominacji analizowanych punktów sprzedaży (rys. 3). Dzięki zastosowaniu modułu wspomagania decyzji możliwe było także zobrazowanie obszarów, na których zajmują one drugie, trzecie i kolejne miejsca (rys. 4).



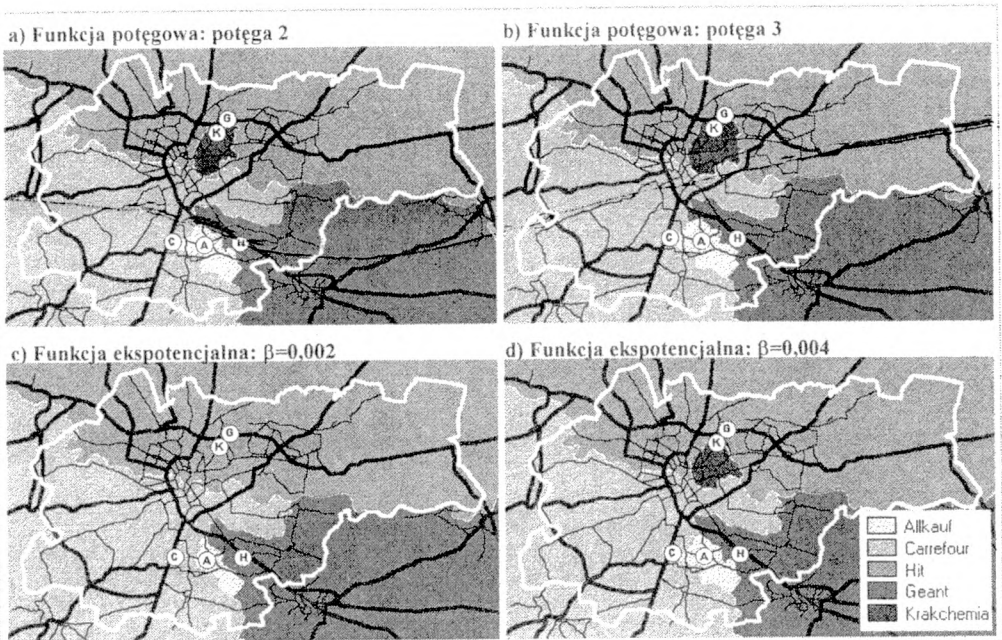
Rys.2.: Mapy obliczonego względnego (w stosunku do pozostałych czterech marketów) udziału w rynku hipermarketu Carrefour. Analizowane markety oznaczono odpowiednio: C - Carrefour, A - Allkauf, G - Geant, H - Hit, K - Krakchemia.

### 3. Wnioski

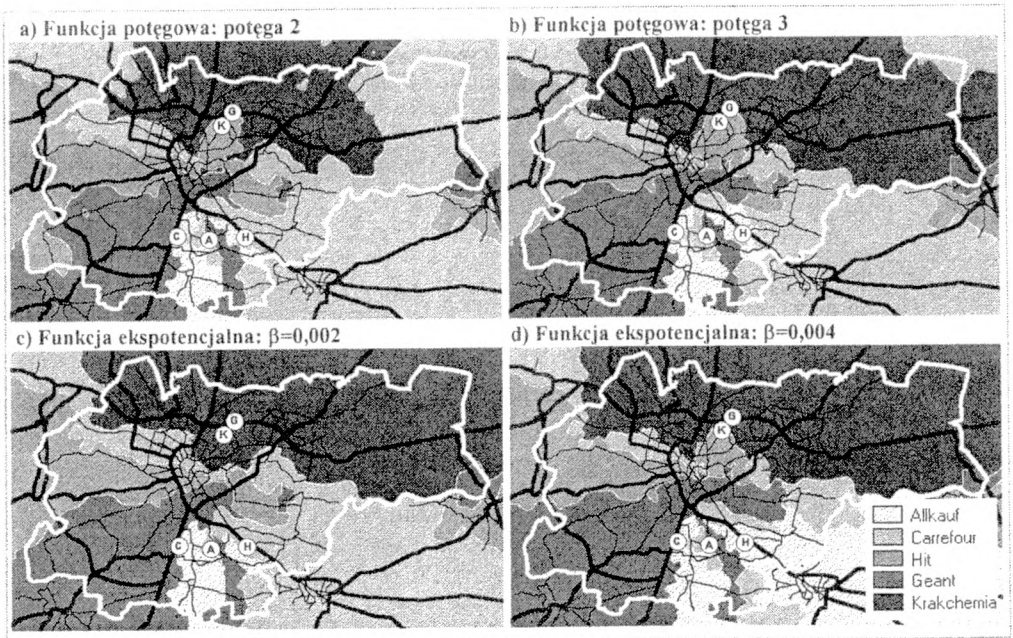
Przeprowadzone analizy pozwalają zaobserwować wpływ przyjętego modelu zachowań konsumentów (interakcji przestrzennych) na wynikowy obraz podziału rynku pomiędzy poszczególne punkty sprzedaży. Postać funkcji  $f(c_{ij})$  związana jest z „niechęcią” konsumentów do podejmowania podróży w celu dokonania zakupów. Funkcja potęgowa odzwierciedla sytuację gdy „niechęć” ta wzrasta logarymicznie wraz ze wzrostem kosztu podróży, ekspotencjalna – gdy zależność ta ma charakter liniowy [Wilson, 2000].

W przypadku modelu potęgowego udział punktu w rynku dąży do 100% w miejscu jego lokalizacji, bez względu na zastosowany wykładnik i atrakcyjność poszczególnych analizowanych punktów, przy czym zwiększanie parametru wykładnika potęgi oddaje zmniejszenie chęci do podróżowania, co odpowiada większemu przywiązaniu klienta do najbliższego punktu sprzedaży.





Rys.3.: Mapy rejonów dominacji analizowanych marketów: A - Allkauf, C – Carrefour, G - Geant, H - Hit, K - Krakchemia.



Rys.4.: Mapy obszarów, na których analizowane markety zajmują drugą pozycję w udziale w rynku: A - Allkauf, C – Carrefour, G - Geant, H - Hit, K - Krakchemia.

W przypadku modelu eksponentialnego maksymalna wielkość udziału w rynku zależy od przyjętych parametrów. Zwiększanie parametru  $\beta$  oddaje większą chęć klientów do odbywania podróży, a więc ich mniejszy związek z najbliższym położonym punktem sprzedaży.

Ostateczny wybór funkcji modelującej interakcje przestrzenne następować powinien na drodze kalibracji. Niezbędnych danych dostarczyć mogą przeprowadzane ankiety, imienne promocje, informacje pozyskiwane dzięki kartom stałego klienta, itp..

Kompletna symulacja interakcji przestrzennych uwzględniać powinna dodatkowe czynniki, m.in. sposoby dotarcia klientów (nie tylko ruch samochodowy, ale także komunikację publiczną i lokalny ruch pieszy), dobowe, tygodniowe czy sezonowe zmiany sytuacji komunikacyjnej, zindywidualizowane preferencje konsumentów zależne od ich stylu życia. Wymaga to budowy zdywersyfikowanych modeli, odzwierciedlających różne możliwe występowanie przypadki.

### 3. Podsumowanie

Przedstawione powyżej analizy stanowią przykład wykorzystania GIS-u dla wspierania działalności komercyjnej. Uwzględnienie zależności przestrzennych otwiera duże możliwości pozyskiwania dodatkowej informacji o rynku oraz modelowania zachowań konsumentów, co wykorzystane może zostać np. w celu oszacowania rentowności planowanej inwestycji bądź oceny działalności już istniejącej (osiąganej efektywności, skuteczności reklamy, itp.).

Uzyskiwane wyniki mogą być również przydatne dla planistów i decydentów, wspierając np. proces oceny lokalizacji dużych obiektów handlowych.

Do przeprowadzenia pełnej symulacji konieczne jest posiadanie, pozwalającej na dokonanie dywersyfikacji rynku, informacji o rozmieszczeniu konsumentów, ich preferencjach, zamożności, strukturze wiekowej, itp.. Tego rodzaju dane - dotychczas dostępne jedynie w postaci opisowej bazy danych (np. GUS) - coraz częściej przetwarzane są przez komercyjne firmy i sprzedawane w postaci baz danych przestrzennych. Jest to wynikiem dynamicznie rozwijającego się rynku informacji mikromarketingowej, w której systemy GIS zaczynają odgrywać coraz większą rolę.

Należy oczekiwać, że wzrost dostępnej informacji przekładać się będzie na zwiększone zainteresowanie zaawansowanymi analizami przestrzennymi prowadzonymi przez podmioty gospodarcze nie używające dotąd w swej działalności systemów informacji geograficznej, dla których systemy te staną się z czasem niezbędnym narzędziem. Wydaje się, że cennych danych (np. o rozmieszczeniu ludności, natężeniu ruchu i in.) mogłyby dostarczyć im również fotogrametria i teledetekcja. Ich wykorzystanie limitowane jest poprzez koszt ich pozyskania. Należy jednak pamiętać, że decydująca o ich cenie wysoka dokładność, niezbędna w innych zastosowaniach, dla tego rodzaju analiz często nie jest konieczna.

**Literatura:**

1. Birkin M., Clarke G. P., Clarke M., Wilson A. G., 1996, *Intelligent GIS: location decisions and strategic planning*, Geoinformation International, Cambridge;
2. Bujakowski K., Mierzwa W., Pyka K., Trafas K., 1998, *Komputerowy Atlas Województwa Krakowskiego (KAWK) – stan aktualny i przyszłość*, Materiały VIII Konferencji Systemów Informacji Przestrzennej, maj 1998, Warszawa;
3. Carey H. C., 1858, *Principles of social science*, Lippincott, Philadelphia;
4. Carrothers G. A. P., 1956, *An historical review of the gravity and potencial concepts of human interaction*, Journal of the American Institute of Planners, 22: 94-102.
5. Drzewiecki W., Hejmanowska B., Pirowski T., 1999, *Przykładowe analizy przestrzenne w oparciu o Komputerowy Atlas Województwa Krakowskiego KAWK*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 9
6. Eastman R. J., 1999, *IDRISI 32. Reference Guide*, Clark Labs, Clark University, Worcester;
7. Reilly W. J., 1929, *Methods for the study of retail relationships*, Bulletin No. 2944, University of Texas;
8. Stewart J.Q., 1942, *A measure of the influence of population at a distance*, Sociometry, 5: 63-71
9. Wilson, A.G., 2000, *Complex Spatial Systems: The Modelling Foundations of Urban and Regional Analysis*, Pearson Education Limited, Harlow.

Recenzowała: dr inż. Beata Hejmanowska