

Jadwiga Brzuchowska

ROZSZERZENIE MOŻLIWOŚCI ANALIZ ROZKŁADU PRZESTRZENNEGO KONTAKTÓW Z WYKORZYSTANIEM GIS

Artykuł prezentuje opartą na GIS technikę analizy gęstości przemieszczeń i oddziaływań przestrzennych rozwijającą koncepcję planów selekcyjno-wiązkowych, metodę wizualizacji przestrzennego rozkładu potrzeb transportowych. Koncepcja rozwoju planów selekcyjno-wiązkowych opiera się na łączeniu operacji na wektorach, tabelach i rastrach w środowisku ESRI ArcGIS. Nowa wersja operacyjna metody jest łatwiejsza i bardziej efektywna, pozwala na znaczne wzbogacenie zakresu przetwarzanych i obrazowanych zjawisk oraz uwzględnienie zjawisk powiązanych.

Słowa kluczowe: *rozkład przestrzenny połączeń, obrazowanie dojazdów, analiza więźby, plany selekcyjno-wiązkowe, gęstość podróży, GIS*

1. Wstęp

Badanie i planowanie rozwoju struktur zagospodarowania przestrzennego w kontekście wzajemnych oddziaływań ich elementów było i jest w centrum zainteresowań teorii i praktyki planowania przestrzennego. Dla poszukiwań prawidłowości funkcjonowania tak złożonych systemów przełomem było wprowadzenie elektronicznej techniki obliczeniowej. W pierwszej kolejności skorzystała, najlepiej do tego przygotowana, dziedzina transportu. Na początku lat 60. XX w. zastosowano maszyny cyfrowe do modelowania wymiany ruchu na obszarach zurbanizowanych oraz prognozowania obciążania ruchem sieci komunikacyjnych. W ślad za tym można było poddać testowaniu inne hipotezy, co pozwoliło na rozwój modeli teoretycznych i narzędzi symulacji rozwoju struktur osadniczych.

Pół wieku później dysponujemy zaawansowanym oprogramowaniem dla wspomagania projektowania sieci transportowych i modelowania ruchu. Równolegle, powstanie i rozwój systemów geoinformacyjnych zaowocowały powszechną dostępnością narzędzi analitycznych (zarówno prostych, jak i wyrafinowanych) oraz coraz szerszych zasobów informacji i danych przestrzennych. Wydaje się jednak, że w zastosowaniu do tak złożonego i wieloaspektowego przedmiotu badań, ich potencjał mógłby być lepiej wykorzystywany. W szcze-

gólności mogłoby być przydatne, a jednocześnie relatywnie proste, upowszechnienie oparte na rutynowych narzędziach GIS schematu zakładającego:

- rozszerzenie zakresu tematycznego analizowanych zjawisk i uwzględnienie ich powiązań, w tym przestrzennych,
- ograniczenie poszczególnych analiz do wybranych kategorii elementów systemu (kategorii kontaktów, zagospodarowania, cech terenu) z równoczesnym rozszerzeniem informacji o elementach powiązanych,
- opracowanie technik wizualizacji zorientowanych na cele poznawcze.

Przykładem takiego schematu jest przedstawiona dalej propozycja analizy rozkładu przestrzennego przemieszczeń inspirowana techniką planów selekcyjno-wiązkowych, prostą i efektywną metodą wizualizacji przestrzennego obrazu potrzeb transportowych.

2. Plany selekcyjno wiązkowe w wersji źródłowej: idea, zastosowania, kierunki rozwoju

Plany selekcyjno-wiązkowe są metodą wizualizacji więźby ruchu. Więźba, inaczej wymiana ruchu na danym obszarze, określa przemieszczenia między każdą parą rejonów, wyrażone liczbą osób, pojazdów umownych, tonażem itp. Jest przedstawiana w formie macierzy, a jej graficzna postać (tzw. pajak ruchu) to zbiór odcinków łączących środki ciężkości rejonów, gdzie grubość odcinka jest wprost proporcjonalna do wielkości potoku ruchu. Podstawową wadą więźby jest jej nieczytelność, tym większa, im drobniejszy zastosowano podział na rejon, a najskuteczniejszym sposobem na udostępnienie więźby do analiz wizualnych jest zastosowanie planów selekcyjno-wiązkowych.

Graficzny obraz więźby w technice planów selekcyjno-wiązkowych otrzymuje się w następujący sposób. Badany obszar (podzielony na rejon, dla których zbudowano macierz wymiany ruchu) pokrywamy dowolną siatką kwadratową. Następnie kolejno dla każdej wiązki ruchu reprezentowanej przez odcinek łączący środki ciężkości dwóch rejonów, w każdym z kwadratów siatki, które ta wiązka przecina, odnotowujemy wielkość przechodzącego potoku ruchu. Jeżeli kwadrat przecięty jest przez kilka wiązek, to zapisuje się w nim ruch sumaryczny. W ten sposób dla każdego kwadratu określa się wielkość przechodzącego przezeń tranzytu. W celu zobrazowania wielkości przemieszczeń każdemu kwadratowi przyporządkowuje się znak graficzny o powierzchni wprost proporcjonalnej do zarejestrowanego tam obciążenia.

Oprócz prezentacji pełnej więźby do wizualizacji wybiera się połączenia według różnych kryteriów, w celu poprawy czytelności (np. rozwarstwienie podróży według sektorów kierunkowych) i/lub wspomagania konkretnych analiz (np. rozdzielenie podróży według długości, zgodnie z prawdopodobieństwem realizowania ich różnymi środkami). Plany selekcyjno-wiązkowe pozwalają

wygenerować obraz „sieci idealnej” (najkrótszych, bo prostoliniowych, połączeń źródeł i celów ruchu). Pozwalają też określić zapotrzebowanie na układ komunikacyjny, dostarczając przesłanek np. dla: klasyfikacji odcinków sieci, projektowania nowych połączeń, ustalania tras komunikacji zbiorowej, szacowania pojemności parkingów strategicznych.

Historia zastosowań planów selekcyjno-wiązkowych sięga połowy lat 50. XX w., kiedy wykorzystano je w studiach komunikacyjnych Detroit i Dallas (Carsten, Ross, Tipton 1957, Row 1957), przy czym w Detroit do prezentacji wyników zastosowano warstwy, a w Dallas – kwadraty. W tym samym czasie podobną metodę stosowano na Politechnice Wiedeńskiej (Inziger, Knodel 1962). W Polsce metoda ta została wprowadzona przez Tadeusza Zipsersa i była wielokrotnie stosowana w prognozach komunikacyjnych. Technika ta stała się jednym z elementów numerycznej metody analizy porównawczej obszarów zurbanizowanych pod kątem sprawności układów komunikacyjnych (Zipser i in. 1972). Ponadto technika była adaptowana do analizy różnego rodzaju powiązań przestrzennych.

Prace badawcze dotyczące rozwoju metody planów selekcyjno-wiązkowych obejmują propozycje obiektywizacji odczytu obrazów otrzymanych tą techniką oraz analizę wpływu geometrii układu odniesienia na obrazy wynikowe (Rawda Al Harithi 1993). Z kolei E. Litwińska (1996) badała możliwości wzmocnienia zawartej w planach informacji wizualnej, zwracając uwagę m.in. na możliwości zastosowania technik przetwarzania i rozpoznawania obrazów (segmentację, progowanie, wykrywanie krawędzi, rozszerzanie obrazu, ścienianie, filtrowanie). Warto zauważyć, że operacje te są dostępne m.in. w oprogramowaniu GIS (wersjach operujących na danych rastrowych) i że nie są to jedyne z wielu oczekiwanych funkcjonalności planów selekcyjno-wiązkowych, które mogą być realizowane z wykorzystaniem rutynowych narzędzi GIS. Metoda planów selekcyjno-wiązkowych jest łatwa do implementacji na platformie GIS. Ponadto korzyści prowadzenia analiz i wizualizacji więźby w tym środowisku mogą być znacznie szersze. Najbardziej jednak inspirująca jest obserwacja, że cała idea planów selekcyjno-wiązkowych jest w pełni zgodna ze specyfiką GIS i realizuje koncepcje analiz przestrzennych stanowiących istotę GIS.

3. Koncepcja rozwoju planów selekcyjno-wiązkowych w środowisku ESRI ArcGIS

Rozwój metody w środowisku ArcGIS pozwala na wykorzystanie:

- możliwości mierzenia i zliczania w strukturze rastrowej natężenia zjawisk ilościowych (takich jak wielkość potoków ruchu lub ilość przemieszczeń przecinających komórkę rastra) wraz z różnymi opcjami uśredniania,
- możliwości wizualizacji proporcji lub natężenia zjawisk,

- przetwarzania i wzmacniania obrazów,
- możliwości kartograficznych oprogramowania: operacji na histogramach, klasyfikacji, selekcji wartości z przedziałów, równoczesnego oglądu kilku kategorii zjawisk reprezentowanych przy pomocy składowych barwnych, reprezentacji zjawisk w postaci powierzchni trójwymiarowych,
- uwzględniania w analizie nie tylko cech badanych obiektów przestrzennych (czyli odcinków reprezentujących przemieszczenia), ale też charakterystyk obiektów możliwych do powiązania przez relacje, w tym relacje przestrzenne.

Większość z wymienionych operacji odwołuje się do rutynowych poleceń programu ArcGIS.

Proponowany schemat postępowania w środowisku oprogramowania ArcGIS obejmuje:

- zdefiniowanie geometrii odcinków (więźby) połączeń między rejonami jako klasy obiektów przestrzennych z zachowaniem identyfikatora połączenia (podróży), ewentualnie identyfikatorów źródła i celu podróży (lub, jako wariant powyższego, zdefiniowanie geometrii odcinków reprezentujących pojedyncze podróże z zachowaniem ich identyfikatorów),
- zdefiniowanie relacji między odcinkami połączeń a tabelą atrybutów połączeń; w przypadku zaś istnienia innych danych dotyczących obiektów możliwych do relacyjnego powiązania z odcinkami połączeń (także z ich źródłami lub celami bądź też z ich atrybutami), których związki chcemy zbadać – należy zdefiniować odpowiednie relacje, aby udostępnić te dane do łącznej analizy,
- zdefiniowanie warunków selekcji połączeń na podstawie cech przestrzennych lub na podstawie cech opisowych obiektów z tabeli połączeń lub relacyjnie powiązanych tabel,
- zbudowanie mapy gęstości linii (polecenie *LineDensity*) o pożądanych parametrach, tj. z określeniem rozdzielczości rastra, zasięgu zliczania, wariantu polecenia (gęstość jądra lub proste zliczanie), a także ze wskazaniem atrybutu, którego wartości będą sumowane i ustaleniem jednostek powierzchni,
- zdefiniowanie legendy warstwy tematycznej gęstości przemieszczeń, w tym zbadanie histogramu, określenie progowych wartości do wyświetlania, określenie zasad klasyfikacji, liczby klas, kolorystyki, a także zestawu innych warstw tematycznych do wspólnego wyświetlenia.

4. Przykłady zastosowań nowej wersji planów selekcyjno-wiązkowych

Dla przybliżenia i ilustracji opisanych możliwości przygotowano kilka map gęstości przemieszczeń opracowanych na podstawie czterech zbiorów danych o różnym charakterze. W trzech wykorzystano materiały uzyskane z Urzędu Miejskiego Wrocławia, zgromadzone tam dla wspomagania prowadzonych ana-

liz transportowych. Są to: macierze wymiany ruchu dotyczące podstawowych kategorii kontaktów modelowanych dla obszaru Wrocławia z otoczeniem oraz wyniki ankietowania gospodarstw domowych dotyczącego zachowań transportowych mieszkańców miasta. Trzeci zbiór to więźba dojazdów dzieci do szkół wrocławskich – wynik przetworzenia danych z systemu elektronicznej rekrutacji. Czwarty zbiór również jest wynikiem ankietowania i powstał na Politechnice Wrocławskiej w ramach pracy dyplomowej dotyczącej zachowań komunikacyjnych studentów (Leski 2007). Uzupełniają je inne dane: modele sieci transportowych, geometria linii komunikacji zbiorowej, rozmieszczenie mas ruchotwórczych.

Na podstawie danych o przemieszczeniach wygenerowano zbiory linii (odcinków) podróży, z którymi powiązane są dodatkowe tabele danych opisowych. W przypadku podróży osób ankietowanych każde połączenie to jeden przejazd, natomiast w macierzy wymiany ruchu między rejonami komunikacyjnymi każde połączenie ma określoną wielkość potoku ruchu.

Dostępne atrybuty elementów macierzy wymiany ruchu między rejonami to kategoria kontaktu i parametry modelowania, a także obliczone na podstawie geometrii połączeń międzyrejonowych: sektory kierunkowe, podróże z określonych przedziałów długości, podróże wychodzące z lub skierowane do wybranych grup rejonów.

Znacznie bogatsze są informacje wynikające z indywidualnych charakterystyk poszczególnych podróży, ich źródeł i celów. Baza rekrutacji do szkół pozwala nie tylko na klasyfikację szkół według poziomu i rodzaju, ale też na uwzględnienie ich cech indywidualnych (specjalizacji, rangi). Najbogatsza jest zawartość informacyjna wyników przetworzenia badań ankietowych.

W przypadku ankietowania gospodarstw domowych:

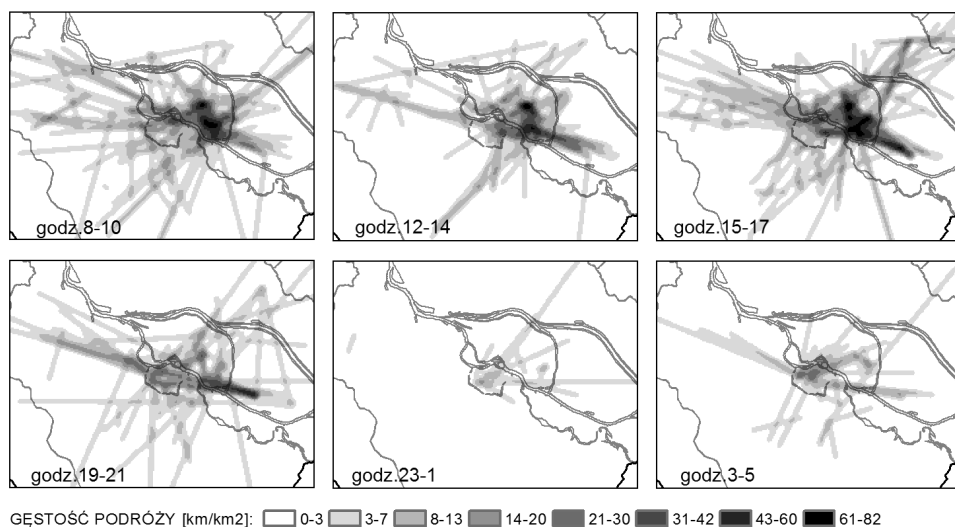
- podróż ma określoną: godzinę, dzień tygodnia, kategorię źródła, kategorię celu, kategorię kontaktu, środek transportu, szacowaną długość i czas, cechy respondenta (wiek, liczebność gospodarstwa domowego, liczba samochodów, wykształcenie, zawód, preferencje komunikacyjne),

- dalsze cechy możliwe do określenia dla ankietowanego to np. cechy jego miejsca zamieszkania (sąsiedztwa) i strefy lokalizacji (odległość od centrum, odległość od przystanku tramwajowego).

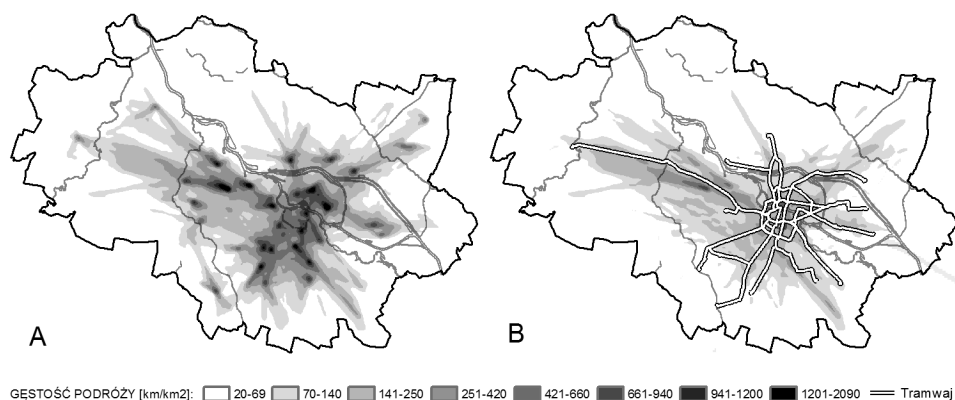
Mapy gęstości podróży – odpowiadające dawnym planom selekcyjno-wiązkowym – budowane są na podstawie wybranych kategorii podróży. Selekcja linii podróży odnosi się bądź to do atrybutów klas obiektów dostępnych do bezpośredniego badania, bądź też do cech obiektów możliwych do powiązania przez relacje. W pierwszym przypadku kryteria selekcji mogą dotyczyć: atrybutów podróży, własnych przestrzennych charakterystyk odcinków przemieszczeń, atrybutów źródeł lub celów przemieszczeń. W drugim przypadku selekcja może być określona np. na podstawie cech osoby przemieszczającej się (określonych w tabelach danych opisowych powiązanych przez relacje z tabelą prze-

mieszczeń) lub na podstawie relacji przestrzennych odcinków przemieszczeń (czy też lokalizacji ich źródeł lub celów) do innych obiektów przestrzennych.

Przedstawiono przykłady obu sytuacji. Rysunek 1 ilustruje podróże ankietowanych studentów Wrocławia, gdzie kryterium selekcji była godzina rozpoczęcia podróży. Na rysunku 2 zestawiono rozkłady gęstości dojazdów do gimnazjów wszystkich ich uczniów mieszkających we Wrocławiu oraz tych uczniów, których miejsca zamieszkania są oddalone od szkoły o więcej niż 4 km.

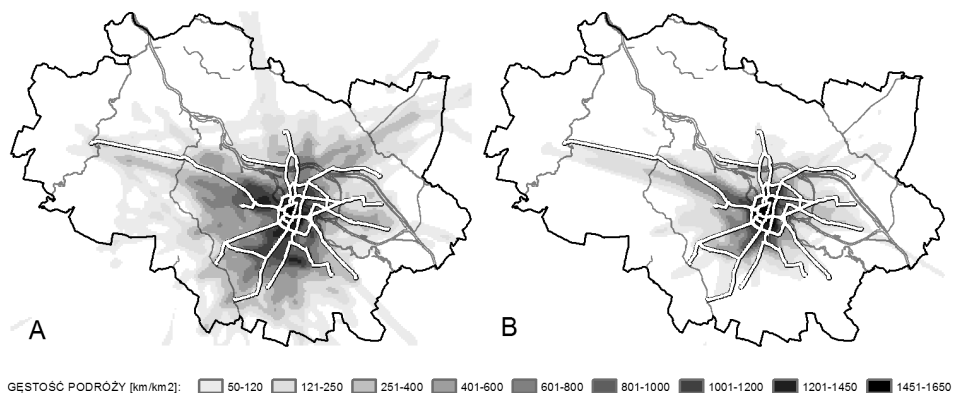


Rys. 1. Mapa gęstości podróży studentów – selekcja według pory dnia
 Źródło: opracowanie własne na podstawie danych ankiety przeprowadzonej wśród studentów przez M. Leskiego (2007)



Rys. 2. Mapa gęstości więzby dojazdów do gimnazjów uczniów mieszkających we Wrocławiu: (A) wszystkie dojazdy, (B) dojazdy dłuższe niż 4 km
 Źródło: opracowanie własne

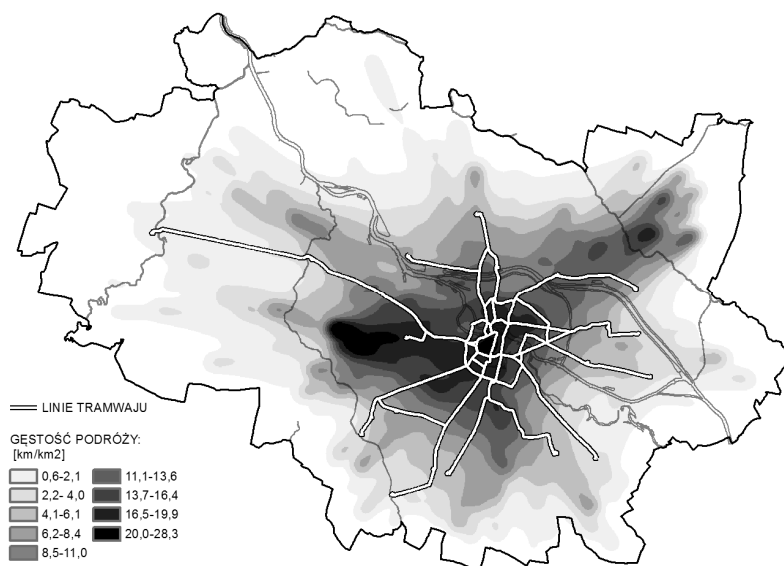
Z kolei rysunek 3 przedstawia rozkład przestrzenny podróży podejmowanych przez mieszkańców Wrocławia, opisanych w wyniku ankietowania gospodarstw domowych, rozwarstwionych ze względu na środek komunikacji.



Rys. 3. Mapa gęstości podróży mieszkańców Wrocławia – wyniki ankiet gospodarstw domowych. Kryterium selekcji podróży – środek komunikacji:

(A) samochód, (B) tramwaj

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych ankiety gospodarstw domowych przeprowadzonej w czerwcu 2006 r. na zamówienie UM Wrocławia na potrzeby projektu Tramwaj Plus



Rys. 4. Mapa gęstości modelowanych podróży – więźba ruchu dom–usługi. Kryterium selekcji podróży: czas dojazdu od środka ciężkości regionu rozpoczęcia podróży do najbliższego przystanku tramwaju > 15 minut

Źródło: opracowanie własne

Ostatni rysunek przedstawia modelowaną więźbę ruchu dom–usługi, gdzie selekcję podróży oparto na relacji przestrzennej: włączono tylko podróże startujące z rejonów, których środek ciężkości znajdował się dalej niż 15 minut dojeżdża od najbliższego przystanku tramwajowego (czas określono, budując mapę dystansu od przystanków). Analiza ta była inspirowana przygotowaniem do wrocławskiego projektu Tramwaj Plus.

5. Potencjalne korzyści

Przedstawiona technika była, jak dotąd, stosowana głównie w ramach analiz zjawisk transportowych i wspomaganiu modelowań alokacyjnych. Niektóre jej zalety, takie jak bogactwo wizualizacji czy łatwość zastosowania, są oczywiste. Natomiast największe szanse na pozyskanie za pośrednictwem proponowanych technik jakościowo nowych informacji i pola do wnioskowania wiążą się ze wzbogaceniem zakresu, rodzaju i źródeł analizowanych łącznie danych. Idzie za tym postulat włączania w obszar badania planistów różnych danych i informacji, co w dobie intensywnego rozwoju infrastruktury informacji przestrzennej daje duże możliwości, jednak nakłada też wymagania, co do właściwego współuczestnictwa w procesie tworzenia i udostępniania danych przestrzennych

W zakresie badania zjawisk transportowych wiele może wnieść włączenie do bazy przetwarzanych informacji wektorowego modelu sieci transportowych i wyników opartego na nim modelowania ruchu. Ważne jest pozyskiwanie informacji o rozmieszczeniu mas ruchotwórczych, a także odniesionych przestrzennie charakterystyk źródeł i celów ruchu. Powstające bazy, dotyczące profili społeczno-ekonomicznych ludności, powinny służyć m.in. badaniu związków między charakterystykami miejsc a cechami podróży generowanych w tym miejscu. Otrzymywane oceny terenu dotyczące gęstości podróży mogą być badane pod kątem zgodności z innymi wskaźnikami atrakcyjności lokalizacyjnej terenu oraz z poziomem i dynamiką zmian zagospodarowania przestrzennego, co wymaga monitoringu wycen nieruchomości, procesów inwestycyjnych, procesów migracji.

Wszystkie te dane powinno dać się pozyskiwać z miejskich systemów informacji przestrzennej, co warto uwzględnić, planując kierunki rozwoju tych systemów w zakresie zawartości informacyjnej, struktur danych, standardów wymiany danych, wymagań jakościowych. Duże nadzieje można wiązać z implementacją Dyrektywy INSPIRE i wynikającymi z niej wymogami tworzenia i udostępniania zbiorów danych referencyjnych, a w szczególności baz adresowych, mających kluczowe znaczenie dla włączania w obszar badań informacji możliwych do odniesienia przestrzennego przez adres.

Wskazanie na znaczenie współtworzenia i współużytkowania baz danych dla zwiększenia zakresu zastosowań proponowanej metody nie powinno przesłonić

głównej idei artykułu, a jest nią promowanie szerszego, niż to ma miejsce, wykorzystywania w analizach tych danych, które są dostępne dzięki łącznej analizie obiektów, ich powiązań, cech tych obiektów i powiązań oraz koincydencji przestrzennej innych zjawisk.

Literatura

- Carsten W.M., Ross N., Tipton J.W., 1957, *Directional contour maps of travel desire*, Highway Research Board, Bulletin 153, Washington, s. 15–27.
- Inziger R., Knodel W., 1962, *Verkehrsplanung und Mathematik*, Mathematik, Technik und Wirtschaft, Wien.
- Leski M., 2007, *Analiza rozmieszczenia i przemieszczeń studentów we Wrocławiu*, praca dyplomowa na Wydziale Architektury Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- Litwińska E., 1996, *Obiektywizacja odczytu wyników w technice planów selekcyjno-wiązkowych*, [w:] Bagiński E. (red.), *Zarys metod i technik badawczych w planowaniu przestrzennym*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, s. 23–36.
- Rawda Al Harithi, 1993, *Plany selekcyjno-wiązkowe więzby ruchu w układzie osadniczym. Obiektywizacja interpretacji i możliwy dalszy rozwój*, praca doktorska, Politechnika Wrocławska, Wrocław.
- Row A.T., 1957, *Directional analysis of vehicle travel desire*, Highway Research Board, Bulletin 153, Washington, s. 1–14.
- Zipser T. i in., 1972, *Metody numeryczne całościowej analizy porównawczej obszarów zurbanizowanych pod kątem sprawności układów komunikacyjnych*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.

EXTENSION OF ANALYSIS OF SPATIAL DISTRIBUTION OF CONTACT WITH THE USE OF GIS

This paper aims to develop new visualization methods of spatial distribution analyses of transportation needs using GIS tools. It improves trip-directional plans method that is based on movement intensity analysis and mutual spatial impact of transportation agencies. This method uses vectors, raster data and attributes in order to improve spatial distribution analyses of transportation needs and make thematic maps more legible. Use of different data types also enhance processing and visualization capabilities as it allow to take into account all spatial relationships between data.

Keywords: *spatial distribution of connections, commuting imaging, O-D matrix analysis, trip-directional plans, trips density, GIS*

Dr inż. arch. Jadwiga Brzuchowska
Politechnika Wrocławska, Wydział Architektury, Katedra Planowania Przestrzennego
e-mail: jadwiga.brzuchowska@pwr.wroc.pl