

ANALIZY SYMULACYJNE ZMIAN W FUNKCJONOWANIU SYSTEMU TRANSPORTU W MIASTACH¹

ANDRZEJ SZARATA

dr inż., Politechnika Krakowska,
Katedra Systemów Komunikacyjnych,
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków,
tel./fax. 12 628 25 33,
e-mail: aszarata@pk.edu.pl

Streszczenie. Rozbudowa systemu transportowego w miastach wymaga bardzo wysokich nakładów finansowych oraz przemyślanej polityki transportowej. Wiąże się to z koniecznością podejmowania decyzji, których konsekwencje dla efektywności w przemieszczaniu się osób (i pośrednio towarów) mogą być bardzo dotkliwe. Aby zminimalizować ryzyko przyjęcia błędnych lub nieefektywnych rozwiązań, coraz częściej stosuje się transportowe modele symulacyjne miast lub aglomeracji. Pozwalają one na testowanie możliwych rozwiązań i wskazują na kolejność oraz etapowanie inwestycji bez konieczności angażowania wysokich nakładów finansowych. Właściwie opracowany i skalibrowany model symulacyjny może stanowić bardzo dobre narzędzie wspomagające proces decyzyjny i minimalizujące ryzyko podjęcia niewłaściwych kroków. Niniejszy artykuł ma na celu przedstawienie podstawowych problemów, z jakimi wiąże się proces budowy modelu czterostadiowego, jako najczęściej stosowanego podejścia w warunkach krajowych. W artykule w sposób syntetyczny przedstawiono poszczególne etapy modelowania oraz wskazano na jego słabości. Przedstawiono również alternatywne, wobec ujęcia czterostadiowego, ujęcie bazujące na modelach aktywności. Krótko scharakteryzowano ten sposób modelowania i podkreślono rolę rozbudowanej bazy danych, jaka jest wymagana w tego typu analizach.

Słowa kluczowe: transport miejski, model czterostadiowy, modele aktywności, modelowanie symulacyjne

Wprowadzenie

Analizując stan funkcjonowania systemu transportowego w miastach i aglomeracjach, często posługujemy się odpowiednio skonstruowanymi modelami matematycznymi, odwzorowującymi relacje między różnymi środkami przewozów pasażerskich. Zależności te są wyjątkowo skomplikowane, ponieważ u podstaw podejmowania decyzji zawsze leży czynnik ludzki, który jest w swojej istocie nieprzewidywalny. Oczywiście podejmowane są próby matematycznego modelowania tych zachowań, lecz zawsze są one nacechowane wysokim stopniem uogólnienia, co wpływa na uzyskane wyniki końcowe. Największą zaletą takich modeli jest możliwość weryfikowania różnych scenariuszy zmian, bez konieczności ponoszenia dodatkowych kosztów – dla raz opracowanego modelu systemu transportowego można w sposób dowolny kreować i testować rozwiązania. Posługując się językiem prakseologicznej teorii organizacji [1], można powiedzieć, że model symulacyjny pozwala na *imamentyzację*, czyli „zastępowanie prób faktycznych *pseudopróbami* wykonywanymi w myśli”. Daje to nieograniczone możliwości dla planistów transportu i decydentów w zakresie testowania zmian w systemie transportowym bez konieczności ponoszenia dodatkowych kosztów lub testowania pewnych rozwiązań na tkance miejskiej.

W tradycyjnym ujęciu do opracowania modelu symulacyjnego układu komunikacyjnego miasta wykorzystywany jest model czterostadiowy, odwzorowujący następujące etapy podróży: generację podróży, rozkład przestrzenny podróży, podział zadań przewozowych oraz rozkład ruchu w sieci transportowej. Budowa modelu symulacyjnego wymaga dostępu do bardzo rozbudowanej bazy danych wejściowych składającej się z trzech zasadniczych elementów:

- modelu sieci, odwzorowującego układ drogowo-uliczny miasta wraz z siecią komunikacji zbiorowej;
- bazy danych dotyczącej zmiennych strukturalnych, opisujących charakter zagospodarowania przestrzennego obszaru analizy z uwzględnieniem mniejszych obszarów – rejonów komunikacyjne;
- wyników badań mobilności, zawierających podstawowe informacje dotyczące wybranych cech społecznych i ekonomicznych mieszkańców, rodzajem i charakterem realizowanych podróży, wybranymi środkami transportu, rozkładem przestrzennym podróży itp.

Zmienne strukturalne są pozyskiwane na zasadzie współpracy wielu jednostek miejskich odpowiedzialnych np. za ewidencję ludności, ewidencję pojazdów, edukację itp. O ile globalne wielkości poszczególnych zmiennych są relatywnie łatwo dostępne, o tyle dystrybucja tych wartości do poziomu rejonów komunikacyjnych stanowi duże wyzwanie. W wielu miastach polskich znaczna część danych jest przechowywana w bazach pracujących w środowisku GIS, co pozwala na szybkie i precyzyjne przypisanie wielkości rejonom komunikacyjnym. Ten etap zbierania danych ma istotny wpływ na wyniki końcowe modelu symulacyjnego, a błędne oszacowanie i niewłaściwa dystrybucja zmiennych może zniweczyć najbardziej wyrafinowany model podróży. Zasadniczym elementem tego modelu jest dostępność do wyników badań ruchliwości pozyskiwanych w ramach Kompleksowych Badań Ruchu (KBR). Jest to rozległa baza danych, pozwalająca na znajdowanie matematycznych zależności opisujących każdy z etapów modelu podróży.

Modele czterostadiowe

Modele te charakteryzują się relatywnie wysokim poziomem agregacji i znacząco upraszczają rzeczywistość z racji swojej istoty podejścia do problemu – bazują bowiem na podróży jako podstawowej jednostce. Nie wnikają one w proces podejmowania decyzji, a jedynie analizują podróż

¹ © Transport Miejski i Regionalny, 2012.

jako konsekwencję charakteru zagospodarowania przestrzennego i parametrów sieci transportowej. Jednakże pomimo swoich licznych uproszczeń modele symulacyjne znajdują szerokie zastosowanie w praktyce planistycznej, dając zadowalające wyniki zwłaszcza w analizach kierunków rozwoju systemu transportowego miast i aglomeracji. Dzieje się tak z powodu ich prostoty (zwłaszcza w świetle powszechnego dostępu do nowoczesnych programów komputerowych) oraz ustalonego i wielokrotnie sprawdzonego sposobu pozyskiwania danych wejściowych. Budując modele czterostadiowe, należy opierać się na szczegółowych wynikach badań ruchliwości pozwalających na tworzenie własnych formuł opisujących zjawiska podróży. Taka analiza traktowana jest jako ujęcie klasyczne, lecz nie jedyne (jest wiele modeli pozwalających opisywać zjawiska podróży, np. modele bazujące na aktywnościach). W warunkach krajowych najczęściej spotykanym podejściem jest model czterostadiowy, rekomendowany m.in. w Niebieskiej Księdze [2]. Struktura modelu składa się z następujących części [3]:

- generacja podróży (potencjały ruchotwórcze) – jest to model najczęściej analityczny, polegający na określeniu wielkości potencjałów ruchotwórczych dla przyjętych rejonów komunikacyjnych; wyróżniamy dwa typy potencjałów: produkcja określająca liczbę podróży wytwarzanych przez dany rejon komunikacyjny w jednostce czasu oraz atrakcja stanowiąca absorbowaną liczbę podróży;
- rozkład przestrzenny podróży – polega na rozdzielaniu produkcji rejonów komunikacyjnych poprzez opisanie skąd dokąd są realizowane podróże; w efekcie uzyskuje się więźbę ruchu stanowiącą macierz o wymiarze odpowiadającym liczbie rejonów komunikacyjnych;
- podział na środki transportu (ang. *modal split*) – wyznacza udział poszczególnych środków transportu w podróżach;
- rozkład ruchu na sieć komunikacyjną – jest to rozkład więźby ruchu na model sieci komunikacyjnej obszaru analizy, co w efekcie pozwala wyznaczyć wielkości potoków pasażerskich i potoków pojazdów na poszczególnych odcinkach sieci; na tej podstawie można określić wymagane parametry funkcjonalne, tj. pracę przewozową, liczbę pasażerów czy czas podróży.

Modelowanie poszczególnych etapów polega na znajdowaniu matematycznych zależności między zmiennymi objaśniającymi przypisanymi do rejonów komunikacyjnych a rzeczywistymi zachowaniami komunikacyjnymi mieszkańców zebranymi właśnie w trakcie prowadzonych badań KBR. Podstawowym założeniem pozwalającym dokonać weryfikacji jakości wyników badań ruchliwości jest oczekiwana zgodność uzyskanego modelu z wynikami pomiarów przekrojowych. Podejście takie jest uzasadnione, ponieważ model budujemy i testujemy w oparciu o niezależne dane wejściowe.

Problematyka modelowania

Zastosowanie do modelowania programów symulacyjnych pozwala na ingerencję właściwie w każdy poziom modelu i identyfikację potencjalnych błędów. Aby jednak można było podjąć próbę oceny jakości wyników badań ruchu, należy dysponować modelem sieciowym miasta/aglomeracji (wstępnie skalibrowanym) oraz wynikami pomiarów przekrojowych. Proces kalibracji modelu polega na takim dopasowaniu formuł matematycznych opisujących poszczególne etapy modelowania, aby uzyskany wynik (w postaci natężenia ruchu drogowego lub potoków pasażerskich) był zgodny z dostępną bazą pomiarową. W przypadku, gdy mamy do czynienia z modelem historycznym, można skorzystać z procedury kalibracji więźby ruchu w oparciu o pomiary przekrojowe. Może to stanowić bardzo wartościową alternatywę wobec prowadzenia badań ruchliwości dla potrzeb aktualizacji modeli symulacyjnych [4]. Należy jednak pamiętać, że aktualizacja więźby ruchu w takim przypadku niesie za sobą ryzyko popełnienia błędu związanego z brakiem uwzględniania w procedurze obliczeniowej, np. zmian w zagospodarowaniu przestrzennym. Ponieważ znane metody aktualizacyjne faworyzują rozwiązania możliwie najbardziej zbliżone do więźby wyjściowej, nie zaleca się stosować takiego podejścia w przypadkach, kiedy zmiany w strukturze miasta są znaczące w porównaniu do stanu pierwotnego. Drugim ważnym zagadnieniem jest rozpowszechnianie metod aktualizacyjnych i ich automatyzacja poprzez zastosowanie odpowiednich narzędzi symulacyjnych. W takim przypadku procedury kalibracyjne wymagają dosłownie chwili, lecz niekoniecznie prowadzą do właściwych wyników. Można sobie wyobrazić wielokrotne powtarzanie procedury kalibracyjnej, aż do osiągnięcia założonej zgodności. Jednakże takie działanie prowadzi do całkowitej zmiany kształtu więźby ruchu, a w efekcie do zafałszowania rozkładu rzeczywistych podróży w mieście.

Konstruując model symulacyjny miasta, ujęcie czterostadiowe wymaga zastosowania sekwencyjnej procedury systematyzującej cztery etapy modelowania podróży.

Potencjały ruchotwórcze

Pierwszy etap modelowania polega na wyznaczeniu formuł określających potencjały ruchotwórcze. Formuły te najczęściej mają charakter funkcji liniowej, w której zmienną objaśnianą jest liczba podróży w poszczególnych motywacjach, a zmiennymi objaśniającymi – w zależności od motywacji – liczba mieszkańców, miejsc pracy, zawodowo czynnych itp. Takie podejście pozwala na szybką i łatwą weryfikację uzyskanych wyników oraz powiązanie parametrów modeli z innymi zmiennymi, np. ruchliwością danej grupy. Ogólna formuła dla wybranej motywacji (dom – nauka) może przyjąć postać:

$$Produkcja_{dom-nauka} = \alpha \cdot liczba_uczniów \quad (1)$$

Znaczenie tej formuły może być interpretowane następująco – liczba podróży generowanych przez dany rejon komunikacyjny jest wprost proporcjonalna do liczby

uczniów zamieszkujących ten rejon. Przedstawiony parametr α odpowiada ruchliwości tej grupy mieszkańców wyznaczonej jako efekt analizy wyników badań ruchliwości (np. w ramach KBR). Rozwarstwienie globalnej liczby podróży na podstawowe motywacje pozwala więc na dokładną analizę liczby podróży wewnątrz każdej z nich i prowadzi do możliwości sprawdzania poziomów ruchliwości mieszkańców. Efektem końcowym będzie zatem zestawienie liczby podróży w poszczególnych motywacjach, przypisanych do rejonów komunikacyjnych (sumaryczne wartości liczby podróży rozwarstwione na motywacje pozwalają określić ruchliwość). Sprawdzenie wyników na tym poziomie modelowania może być przeprowadzone przez kontrolę całkowitych wartości wyznaczonych innym sposobem – poprzez powiązanie wybranych grup użytkowników (zawodowo czynni, studenci, uczniowie itp.) z globalną liczbą podróży szacowaną przy uwzględnieniu wskaźników absencji w grupach podróży związanych z pracą i nauką, oraz dopełniającą ruchliwością w pozostałych grupach. Działanie to daje w efekcie całkowite liczby podróży spodziewane w poszczególnych motywacjach, szacowane w oparciu o oficjalne statystyki dotyczące np. obecności w pracy, wyznaczone przez Główny Urząd Statystyczny. Ten poziom weryfikacji pozwala na sprawdzenie sum podróży w motywacjach i porównanie poziomu ruchliwości wynikającego z KBR oraz z niezależnych danych (baza GUS).

Więźba ruchu

Rozdzielenie wyznaczonych potencjałów ruchotwórczych na podróże realizowane między poszczególnymi rejonami komunikacyjnymi realizowane jest na etapie budowy więźby ruchu. Opracowanie więźby ruchu polega na kalibracji funkcji oporu przestrzeni, wpływającej na liczby podróży, jakie będą realizowane między rejonami komunikacyjnymi. Funkcja oporu modeluje wpływ oporu przestrzeni (wyrażonej czasem podróży lub odległością) na liczbę podróży. W najprostszym ujęciu, wielkość produkcji rozdziela się w proporcji do atrakcji poszczególnych rejonów komunikacyjnych – jest to model proporcjonalny. Wprawdzie jego zastosowanie może być uzasadnione w przypadku małych miast, lecz należy wtedy się liczyć z ewentualnymi błędami modelu. Właściwym podejściem jest zastosowanie pełnego modelu grawitacyjnego, uwzględniającego wpływ czynnika czasu podróży na wybór celu podróży, np. udział dojazdów z odległych północnych rejonów miasta do centrum handlowego znajdującego się w jego południowej części będzie niższy od udziału podróży z rejonów położonych w jego bezpośrednim sąsiedztwie.

Sam proces kalibracji modelu grawitacyjnego wymaga zastosowania specjalistycznego oprogramowania symulacyjnego (Cube, Emme/2, Visum itp.). Przygotowanie danych wejściowych polega na stworzeniu szeregu rozdzielczego, przypisującego do założonych przedziałów czasowych liczby podróży wyznaczonej z badań ankietowych. Duży problem stanowi jakość pozyskanych danych, ponieważ do stworzenia szeregu rozdzielczego wykorzystuje się czas podróży definiowany przez ankietowanego podczas wywiadu (może to pro-

wadzić do niedoszacowania/przeszacowania tego czasu). Można podjąć próbę weryfikacji czasu podróży między rejonami, jednakże wymaga to dostępu do wysokiej jakości modelu sieciowego miasta. Wygenerowanie macierzy czasów podróży pozwoli porównać czas modelowany z czasem deklarowanym przez ankietowanego. Dla potrzeb budowy modelu symulacyjnego Wrocławia [5] wykorzystano próbę badawczą o liczebności przekraczającej 5700 podróży w ciągu doby. Dostępne wyniki zostały następnie rozdzielone na trzy grupy motywacyjne:

- dom – praca, praca – dom,
- dom – nauka, nauka – dom,
- dom – inne, inne – dom, nie związane z domem.

Oddzielnie kalibrowano parametry dla transportu zbiorowego i dla komunikacji indywidualnej (wybrano tutaj odległość między rejonami komunikacyjnymi, jaką musiałby pokonać samochód w podróży między rejonami). Zarówno czasy podróży, jak i odległości zostały zapisane w postaci macierzy. Na podstawie wyznaczonych macierzy czasu i odległości oraz dostępnych wyników badań ankietowych pogrupowano podróże realizowane wewnątrz Wrocławia do poszczególnych klas szeregu rozdzielczego. Stanowiło to podstawę do kalibracji parametrów funkcji oporu stanowiącej część modelu grawitacyjnego. Wybrano funkcję o charakterze logitowym opisaną równaniem:

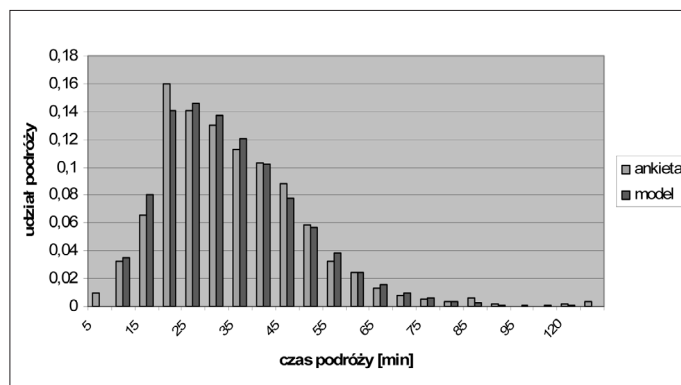
$$f(x) = a \cdot x^b \cdot e^{-cx} \quad (2)$$

gdzie:

x – czynnik wpływu (czas bądź odległość)

a, b, c – kalibrowane parametry.

W tym przypadku otrzymaną więźbę ruchu sklasyfikowano w odniesieniu do czasu podróży (wybrany czynnik wpływu dla więźby ruchu komunikacji zbiorowej). Wynik klasyfikacji pokazuje, w jaki sposób rozłożyły się podróże w więźbie ruchu w odniesieniu do czasu podróży, co pozwala na ich porównanie z wynikami badań ankietowych. Na rysunku 1 przedstawiono porównanie wyników ankiet i modelowanej więźby ruchu dla podróży realizowanych transportem zbiorowym w modelu wrocławskim [5].



Rys. 1. Rozkład czasów podróży realizowanych transportem zbiorowym w motywacji dom – nauka, nauka – dom

Źródło: [5]

Uzyskana zgodność modelu i ankiet jest bardzo wysoka (tab. 1), co pozwoliło na opracowanie więzby całkowitej poprzez złożenie macierzy z wszystkich analizowanych grup motywacji, a po uwzględnieniu ruchu zewnętrznego dokonano weryfikacji rozkładu ruchu z wynikami pomiarów kordonowych. Na tym etapie uzyskano bardzo słabą zgodność i dopiero prace na zagregowanej więzbie (bez rozdzielenia na motywacje) pozwoliło uzyskać zadowalające wyniki. Może to stanowić ostrzeżenie przed rozwarstwianiem próby na zbyt wiele grup, w których liczebność próby badawczej jest stosunkowo niewielka.

Tabela 1

Wyznaczone wartości parametrów modelu grawitacyjnego dla podróży realizowanych transportem zbiorowym				
Grupa motywacji	a	b	c	współczynnik korelacji
dom – praca, praca – dom	1,632	-0,889	-0,051	0,87
dom – nauka, nauka – dom	1,930	-0,942	-0,060	0,95
dom – inne, inne – dom, nie związane z domem	1,464	-0,865	-0,046	0,98

Źródło: [5]

Podział zadań przewozowych

Podział zadań przewozowych określa, jaka część podróży niepieszych będzie realizowana środkami transportu zbiorowego i komunikacji indywidualnej. Modele podziału zadań przewozowych mają ściśle lokalny charakter [6]. Mogą być opracowane na podstawie wyników badań ruchliwości mieszkańców danego miasta w ramach KBR. Kalibracja modelu podziału zadań przewozowych polega na dopasowaniu parametrów krzywej logitowej do danych dotyczących czasu trwania podróży, motywacji oraz sposobu realizacji podróży (w najczęściej stosowanych modelach bimodalnych uwzględnia się transport zbiorowy i komunikację indywidualną). Jakość opracowanego modelu ma istotne znaczenie w całym procesie modelowania, ponieważ kształt funkcji logitowej wpływa na wielkość więzby ruchu, co z kolei przekłada się na wyniki obciążeń układu drogowego w modelu sieciowym. Kalibrując funkcję podziału zadań przewozowych, można uzyskać oddzielne równania dla każdej z motywacji (takie wyniki osiągnięto w Katowicach [7]) lub dla wspólnej grupy motywacji (np. model gdański [8]). W wielu przypadkach nie udało się stworzyć modelu oddającego z wystarczającą dokładnością zależności wyboru środka transportu (np. w modelu krakowskim [9], gdzie współczynnik zgodności $R^2=0,42$ był zbyt słaby do praktycznych zastosowań). W takich przypadkach często wprowadza się model podziału niezależny od czasu podróży. Jednakże tego typu modele nie mają zastosowania praktycznego, ponieważ nie uwzględniają prognozowanych zmian w sieci dotyczących skrócenia/wydłużenia czasu podróży.

Rozkład ruchu w sieci ulicznej

Ostatni etap modelu czterostadiowego stanowi najważniejszy element weryfikujący model symulacyjny. Polega on na rozkładzie opracowanej więzby ruchu na model sieci ulicznej miasta. Wynik rozkładu ruchu stanowi o jakości

całego modelu i może być opisany parametrami pozwalającymi porównać stworzony model z wynikami badań. Podstawowym narzędziem jest porównanie rzeczywistego natężenia ruchu pojazdów (lub potoków pasażerskich) z wielkościami modelowanymi. Wynik porównania może być przedstawiony w postaci wykresu zawierającego wartości zarówno z pomiaru, jak i z modelu dla każdego z dostępnych stanowisk pomiarowych.

Do pełnego opisu pozyskuje się również wartość współczynnika zgodności R^2 . Wynik symulacji można porównywać dla całego zbioru punktów pomiarowych lub dla wybranych, położonych np. na kordonie wokół śródmieścia lub na ekranie – np. wzdłuż rzeki, i wskazać sumę podróży w obu kierunkach przekraczającą linię kordonu na wszystkich odcinkach. Uzyskane wyniki można szybko porównać z dostępnymi pomiarami, co pozwoli na weryfikację jakości modelu i danych użytych do jego budowy.

Modele czterostadiowe (modele aktywności)

Wskutek wysokiego poziomu agregacji danych modele czterostadiowe mają wielu przeciwników. Słabości modeli czterostadiowych nie wpływają jednak znacząco na wyniki końcowe analiz prognostycznych i stąd ich powszechne stosowanie, szczególnie w warunkach krajowych. Szybki rozwój systemów transportowych, wprowadzenie do powszechnego użytku obszarowych systemów sterowania ruchem czy priorytetów dla transportu zbiorowego spowodowały, że modele czterostadiowe nie są w stanie sprostać coraz większemu zbiorowi danych wejściowych. Jeżeli do tego dodamy aspekty polityki transportowej czy elementy zarządzania mobilnością, dochodzimy do sytuacji, w której model nie jest w stanie uwzględnić realnego wpływu takich miękkich działań na przepływy pasażerskie. Ponadto w klasycznym ujęciu modele czterostadiowe bazują na pojedynczej podróży i nie uwzględniają połączenia występującego między konkretnymi podróżami, np. wyjazd z domu do pracy i z powrotem w takich modelach jest traktowany niezależnie, podczas gdy w rzeczywistości jest to podróż realizowana przez jedną osobę. W efekcie może się zdarzyć, że podróż do pracy będzie realizowana autobusem, a podróż powrotna zostanie przypisana do transportu indywidualnego [10]. Już w latach 70. XX wieku dostrzeżono konieczność zrozumienia podróży jako części bardziej złożonego wzorca aktywności (np. [11]). Modele te opierają się na założeniu, że potrzeby transportowe populacji są determinowane przez jej potrzebę do udziału w różnych aktywnościach rozproszonych w czasie i przestrzeni. Aby właściwie modelować potrzeby transportowe mieszkańców, koniecznym jest odpowiednie uwzględnienie aktywności transportowych całej populacji [10]. Następnie biorąc pod uwagę, że pojedynczy użytkownik systemu transportowego podejmuje swoje indywidualne decyzje w interakcji z całym systemem, stąd prosta droga do uwzględnienia wpływu innych użytkowników na proces decyzyjny. Podstawowe założenia ujęcia modelowania bazującego na aktywnościach można przedstawić następująco:

- konieczność podróży wynika z chęci zmiany położenia użytkownika systemu, powodowanej zamierzonymi aktywnościami (np. praca, zakupy itp.);
- użytkownik przy wyborze aktywności operuje pewnym ustalonym budżetem (ekwiwalentem czasu, posiadanych środków i uwarunkowaniami społecznymi);
- użytkownik dopasowuje i koordynuje swoje potrzeby z innymi członkami gospodarstwa domowego;
- ograniczeniem dla wyboru danej aktywności będzie dostęp do samochodu (w związku ze współkorzystaniem z niego przez innego członka gospodarstwa), dostęp do systemu transportu publicznego, czas trwania podróży;
- wybór danej aktywności jest determinowany przez czas wyjazdu, czas jej trwania oraz położenia celu podróży.

Konstrukcja zbioru danych wejściowych do modeli aktywności jest zupełnie inna od wcześniejszych zastosowań. W modelach tych wymagany jest dostęp do szczegółowej bazy danych o podróżach realizowanych przez użytkowników. Są one zapisywane w postaci dzienniczków podróży, w których ankietowany opisuje swoje podróże z dnia poprzedzającego dzień badań, w postaci sekwencji przemieszczeń z wyjaśnieniem każdego etapu podróży [12]. Odpowiednio skonstruowane badania pozwolą na opracowanie modeli uwzględniających: interakcję członków gospodarstwa domowego [13], opracowania łańcuchów aktywności, stosując najczęściej modele logitowe zagnieżdżone oraz przypisania danych aktywności do czasu ich realizacji (ang. *activity scheduling*) [14]. W tym przypadku możemy wyróżnić trzy poziomy modelowania: modele długoi średnioterminowe oraz kalendarz dzienny. Często wykorzystuje się do tego celu bazę danych dotyczącą podróży realizowanych przez użytkowników systemu w ciągu siedmiu dni, aby określić, kiedy respondenci planowali konkretną aktywność, jak często zmieniali atrybuty przypisane do decyzji związanych z tą aktywnością i z jakiej części aktywności zrezygnowali. Pomimo niewielkiej próby badawczej wnioski wyciągnięte z badań stanowiły podstawę do podobnych, prowadzonych w Niemczech, USA i Kanadzie. Modele bazujące na aktywnościach stanowią doskonałe narzędzie uwzględniające wpływ różnych czynników zewnętrznych na decyzję o tym, czy realizować daną podróż, czy z niej zrezygnować. Największą przeszkodą w zastosowaniu tych modeli są rozbudowane procedury obliczeniowe, a co za tym idzie bardzo rozbudowane bazy danych wejściowych, których nie da się pozyskać bezpośrednio z badań typu KBR prowadzonych w warunkach krajowych. Koniecznym tu jest zupełnie nowe podejście w wywiadach domowych i znacznie bardziej precyzyjne analizy dzienniczków podróży. Jest to największa trudność, która przyczynia się do braku praktycznego zastosowania tych modeli w Polsce.

Podsumowanie

Podstawowymi celami budowy modelu symulacyjnego miasta jest weryfikacja zamierzeń inwestycyjnych dotyczących

rozbudowy infrastruktury drogowej i transportu zbiorowego, sprawdzenie efektu założeń polityki transportowej czy wpływu zmian w zagospodarowaniu przestrzennym na warunki ruchu. Budując modele symulacyjne, w warunkach krajowych najczęściej stosowane jest podejście czterostadiowe, syntetyzujące podróż na cztery etapy: generacja, dystrybucja, podział zadań przewozowych i rozkład podróży w sieci. Aby opracować taki model symulacyjny, koniecznym jest dostęp do badań ruchliwości prowadzonych w ramach Kompleksowych Badań Ruchu. Jednakże ujęcie to nie jest doskonałe i z powodu wysokiego poziomu uogólnienia procesu podróży, ma ograniczone zastosowanie. Wydaje się, że pomocne mogą tu być modele bazujące na aktywnościach, nieposiadające błędów ujęcia czterostadiowego, lecz wysoki poziom złożoności danych wejściowych powoduje, że modele te nie są powszechnie stosowane.

Literatura

1. Kotarbiński T., *Elementy teorii poznania, logiki formalnej i metodologii nauk*, Wydawnictwo Polskiej Akademii Nauk, Warszawa 1995.
2. Niebieska Księga, *Sektor transportu publicznego*, Jaspers, wydanie wrzesień 2008.
3. Hensher D., Button K., *Handbook of Transport Modelling*, Elsevier Ltd, Oxford 2005.
4. Szarata A., *Calibration of O-D matrix using traffic counts, Contemporary transportation systems – Selected theoretical and practical problems – New mobility culture*, Edited by Ryszard Janecki, Grzegorz Sierpiński, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011.
5. *Zintegrowany System Transportu Szynowego Aglomeracji i we Wrocławiu – etap I, raport niepublikowany*, Politechnika Krakowska, Ernst&Young, Warszawa – Wrocław 2009.
6. Szarata A., *Podział zadań przewozowych – przegląd modeli oraz zastosowanie wnioskowania rozmytego*, Materiały konferencyjne; VI Konferencja Naukowo-Techniczna z cyklu: Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego, Poznań 2007.
7. Starowicz W. z zespołem, *Kompleksowe badania ruchu w Katowicach i Siemianowicach Śląskich – Analizy problemowe*, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie, Kraków 1999.
8. Jamroz K. z zespołem, *Transportowy model symulacyjny Miasta Gdańska, etap I*, Biuro rozwoju Gdańska/Fundacja Rozwoju Inżynierii Lądowej, materiały niepublikowane, Gdańsk 2012.
9. KBR Kraków, *Przetwarzanie wyników badań, Moduł: Modelowanie ruchu*, materiały niepublikowane, Pracownia Badań Społecznych, Sopot 2003.
10. Sivakumar A., *Modelling Transport: A Synthesis of Transport Modelling Methodologies*, Imperial College London 2007.
11. Hensher D., Stopher P., *Behavioural Travel Modelling*, Croom Helm, London 1979.
12. Richardson A., Ampt E., Meyburg A., *Survey Methods for Transport Planning*, Eucalyptus Press, Melbourne 1995.
13. Goulias K., *Multilevel analysis of daily time use and time allocation to activity types accounting for complex covariance structures using correlated random effects*, 9th International Conference on Travel Behaviour Research, Goldcoast, Juli 2005.
14. Ben-Akiva M., Bowman J., *Integration of an activity-based model system and a residential location model*, „Urban Studies”, 1998, vol. 35 (7).