

CELIŃSKI Ireneusz
SIERPIŃSKI Grzegorz¹

Absorpcyjno- desorpcyjny model ruchu w logistyce miejskiej

modelowanie ruchu,
rejony komunikacyjne
mikrosymulacja ruchu,

Streszczenie

W artykule poruszono zagadnienie modelowania ruchu z wykorzystaniem popularnego czterostopniowego algorytmu *four step model*. Zwrócono uwagę na słabą stronę metodologii związanej ze sposobem przeprowadzania badań ankietowych stanowiących dane wejściowe do budowy modelu ruchu. Zaproponowano także modyfikację w czterostopniowym modelu ruchu, która powinna ułatwić właściwe zarządzanie potokami ruchu w ramach logistyki miejskiej.

ABSORPTION-DESORPTION TRAFFIC MODEL IN CITY LOGISTICS

Abstract

The article deals with traffic modeling with popular four step model (4SM) algorithm usage. Attention was turned on some methodology defect in stage of data preparation. It is problem with the procedure of travel behavior surveys. Some proposal of 4SM modification was also described. It should improve proper traffic flow management in city logistics.

1. CZTEROSTOPNIOWY MODEL RUCHU

Początek XXI wieku związany jest nieodłącznie z nasilającymi się problemami w sferze funkcjonowania systemów transportowych. Dotyczy to zwłaszcza wzrostu kongestii ruchu w ośrodkach aglomeracyjnych. Rozwiązaniem tego problemu mogą być działania w sferze intensyfikacji rozwoju infrastruktury drogowej, również w zakresie systemów ITS. Działania te, przy szczupłych zasobach własnych samorządów lokalnych w Polsce, wymagają poszukiwania zasilania zewnętrznego przedmiotowych inwestycji. Dofinansowanie ze źródeł zewnętrznych nie jest z kolei możliwe bez konstruowania zasadnych modeli ruchu pod kątem planowanych inwestycji w infrastrukturze sieci drogowej. Zatem posiadanie modelu ruchu przez odpowiednie samorzady lokalne jest warunkiem koniecznym właściwego kształtowania logistyki miejskiej, w tym wypadku rozwoju sieci transportowej. Pierwsze modele ruchu wykonali R. Mitchell i R. Rapkin w latach 50-tych XX wieku [13]. Z czasem o modelach tych zwykło się mówić: czterostopniowy model ruchu (ang. four step model 4SM). Model ruchu typu 4SM opisuje relacje pomiędzy wzorcami zachowań komunikacyjnych, a dostępną infrastrukturą oraz ofertą komunikacyjną systemu transportowego. Czterostopniowy model ruchu bazuje na badaniach ankietowych dotyczących podróży wykonywanych przez mieszkańców w sieci transportowej². Przemieszczenia mieszkańców analizowane w badaniach ankietowych zapisuje się w układzie rejonów komunikacyjnych³. Rejon początkowy podróży oraz końcowy w przypadku każdego respondenta determinują późniejszy wynik 4SM. Fragment bazy danych zawierających wyniki badań ankietowych przedstawiono na rysunku 1.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	start	koniec	rozpocz	czas	z	do	środek	wiek
2	60	56	9,1	15	dom: miejsce zamieszkania	nauka: szkoły, uczelnie, miejsce odby		21
3	56	56	14,25	15	nauka: szkoły, uczelnie, miejsce	dom: miejsce zamieszkania	tramwaj	21
4	61	62	9,3	10	dom: miejsce zamieszkania	nauka: szkoły, uczelnie, miejsce odby	tylko pieszo	12
5	61	61	14	10	nauka: szkoły, uczelnie, miejsce	dom: miejsce zamieszkania	tylko pieszo	12
6	61	61	9,45	10	dom: miejsce zamieszkania	nauka: szkoły, uczelnie, miejsce odby	tylko pieszo	9
7	61	61	15,2	10	nauka: szkoły, uczelnie, miejsce	dom: miejsce zamieszkania	tylko pieszo	9
8	61	120	8	80	dom: miejsce zamieszkania	nauka: szkoły, uczelnie, miejsce odby	autobus	21

Rys.1. Fragment przykładowej bazy danych z badania ankietowego dla celów 4SM. Oznaczenia: start (rejon komunikacyjny rozpoczęcia podróży), koniec (rejon komunikacyjny zakończenia podróży), rozpoczęcie (czas rozpoczęcia podróży), czas (czas trwania podróży), z / i /do (parametry określające motywację podróży), śród. (parametr określający modę transportu, którą wykonano podróż), wiek (wiek respondenta) itd.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [7]

¹Wyższa Szkoła Biznesu w Dąbrowie Górniczej, POLSKA, 41-300 Dąbrowa Górnicza, ul. Ciepłaka 1c
E-mail: gsierpinski@wsb.edu.pl

²Szersze informacje o badaniach zachowań komunikacyjnych i konstrukcji formularzy badawczych można znaleźć m. in. w [1], [10], [11], [18] i [19]. Z kolei inne formy pozyskiwania danych o ruchu autorzy opisali m. in. w [3].

³Metodologia dotycząca wyboru granic rejonów komunikacyjnych wykracza poza zakres artykułu. Informacje te można znaleźć m. in. w [12] i [14].

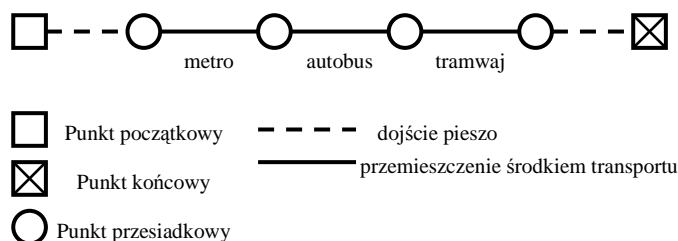
Respondenci w ramach badania pytani są o rzeczywiste podróże wykonane w poprzednim dniu roboczym. Po sporządzeniu ankiet oraz późniejszym ich przetworzeniu można przystąpić do zasadniczych czynności modelowania ruchu drogowego. Czynności pierwszego kroku 4 SM przyporządkowują podróże respondentów do odpowiednich rejonów komunikacyjnych. Na bazie tej operacji określony zostaje potencjał generujący i absorbujący ruch wszystkich rejonów komunikacyjnych. Podróże analizuje się w rozbiciu na poszczególne grupy motywacyjne⁴. Krok drugi sprowadza się do operacji rozłożenia ruchu pomiędzy rejonami komunikacyjnymi z wykorzystaniem różnych modeli ruchu. Z reguły są to modele grawitacyjne. W modelach grawitacyjnych „a priori” zakłada się, że podróże pomiędzy rejonami komunikacyjnymi rozkładają się zgodnie z pewną funkcją rozproszenia „oporu przestrzeni”. Jest to oczywista analogia z równaniem grawitacji znanym z fizyki. Rozłożenie „grawitacyjne” ruchu między rejonami komunikacyjnymi skutkuje uzyskaniem macierzy potoków źródłowo-celowych [5]. Krok trzeci 4SM dotyczy podziału potoków z powyższej macierzy O-D (potoków źródłowo-celowych) na poszczególne środki transportu tzw. mody. Następnie, w kroku czwartym 4SM, potoki źródłowo – celowe z przyporządkowanymi odpowiednimi modami rozkładane są na trasy ózysieci drogowej. Prezentowany w skrócie model 4SM jest w chwili obecnej popularnym podejściem w modelowaniu ruchu (szerzej m. in. w [2], [6], [17]), aczkolwiek nie pozbawionym wad.

Autorzy zwracają uwagę przede wszystkim na strukturę i sens danych przygotowywanych dla poszczególnych kroków 4SM. Dane te są kluczowym elementem w sformułowaniu adekwatnego i zasadnego modelu ruchu. Dane te w obecnej formie zdaniem autorów mogą stanowić przyczynę błędów w zakresie modelowania ruchu i ich kalibracji.

Pierwszym i najważniejszym niedostatkim modelu 4SM są niedostateczne dane wejściowe. Wykonywane badania zachowań komunikacyjnych ograniczają się wyłącznie do akwizycji podróży odbytych [12], [14] z pominięciem subiektywnych zachowań komunikacyjnych osób podróżujących. Badany jest w ten sposób ruch „wymuszany” na klientach systemu transportowego, a nie ruch „preferowany” przez jego użytkowników. W konsekwencji również model ruchu wykonany na tej podstawie nie jest odzwierciedleniem rzeczywistych potrzeb w ruchu.

Należy postawić pytanie: czy tak przeprowadzone rozpoznanie potrzeb i preferencji w zakresie podróży jest zasadne? Konsekwencją powyższego jest kolejne pytanie: czy wykonany na podstawie analizy wszystkich podróży respondentów w danym obszarze model oparty na takich danych będzie odpowiedni? Sposób badań zachowań komunikacyjnych w 4 SM jest z pewnością odpowiedni dla opisu rzeczywistych podróży odbytych przez respondenta, ale w danym czasie przy ściśle określonych warunkach. Nie mniej jednak, jak zostanie wykazane w dalszej części artykułu, sposób ten wcale nie musi być zasadny w aspekcie zarządzania komunikacją miejską i infrastrukturą sieci drogowej w logistyce miejskiej. Przygotowanie danych dla celów wykonania czterostopniowego modelu ruchu w sposób przedstawiony powyżej jest bowiem opisem stanu istniejącego, a nie stanu pożądanego. Rzeczywistym efektem takiego podejścia jest deprecjacja roli respondenta w procesie wykonania modelu ruchu. W konsekwencji rola klienta sieci transportowej ograniczana jest również na dalszych etapach zarządzania i rozwoju infrastruktury. W każdym kolejnym modelu ruchu i związanych z nim inwestycjami w zakresie infrastruktury transportu zwielokrotniane są niewłaściwe praktyki obliczeniowe. W rzeczywistości ruch odbijany jest w „krzywym zwierciadle”. Zmiany w sieci transportowej wykonywane są pod to „co jest” (a posteriori), a nie pod to w jaki sposób ruch mógłby „wyglądać” (a priori). Rzeczywiste potrzeby kierowane przez klientów w stosunku do systemu transportowego są w ten sposób ukrywane bądź marginalizowane.

Zasadniczym elementem w badaniach ankietowych podróży na cele wykonania modelu ruchu winno być pytanie nie tylko o realnie wykonaną podróż bądź podróże, ale również o sposób preferowany jej (ich) odbycia. Klasyczna podróż w sieci transportowej (abstrahując od dostępnych środków transportu) składa się z następującego łańcucha przemieszczeń: podróż piesza, środek transportu 1, środek transportu 2,..., środek transportu i-ty, podróż piesza (rys. 2). Łańcuch podróży zamykają dwie podróże piesze pomiędzy punktem (rejonem) źródłowym podróży i jej miejscem docelowym. Z reguły to podróże piesze narzucają rejon początkowy i końcowy wykonywanej podróży, a więc i w konsekwencji dalszy rozkład między rejonowy i podział potoków między rejonowych na konkretne trasy. Tymczasem pomijane są w ankietach zachowań komunikacyjnych co najmniej dwie istotne kwestie. Nowe spojrzenie na przedmiotowy problem wymaga wyłączenia z rozważań w łańcuchu podróży obydwu przemieszczeń pieszych w rejonie generującym, jak i absorbującym podróż.



Rys.2. Przykładowe łańcuchy podróży

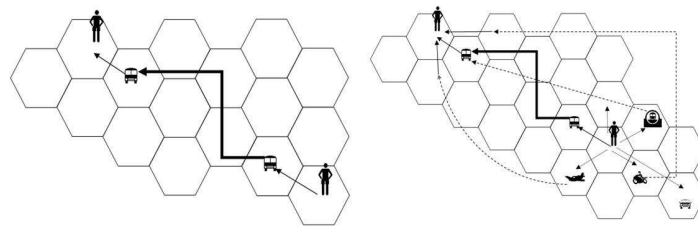
Źródło: Opracowanie własne.

Pierwszą kwestią jest odpowiedź na pytanie: gdzie respondent chciałby rozpoczynać podróż? Drugą kwestią jest – konsekwentnie: odpowiedź na pytanie gdzie chciałby podróż zakończyć? Mowa jest oczywiście w tym przypadku o punkcie rozpoczęcia i zakończenia podróży z punktu widzenia punktów dostępu do sieci preferowanych środków

⁴ Podstawowy podział motywacji podróży wykonywanych na określonym obszarze obejmuje zwykle siedem grup: dom – praca (D-P), praca – dom (P-D), dom – nauka (D-N), nauka – dom (N-D), dom – inne (D-I), inne – dom (I-D), podróże nie związane z domem (NZD). Inne podziały motywacyjne można znaleźć m. in. w [8] i [16].

transportu (pominięcie podróży związanych z pieszym czasem dojścia i odejścia). W tym znaczeniu początek i koniec podróży należałoby rozpatrywać nie z punktu widzenia dosłownego miejsca jej zakończenia i rozpoczęcia. W prezentowanym podejściu modelowane są więc nie tylko istniejące zachowania komunikacyjne mieszkańców, ale również ich preferencje w zakresie alternatywnych sposobów podróżowania w sieci transportowej. Zdaniem autorów jest to podejście bardziej zasadne niż stosowane dotychczas. Problemem do rozwiązania pozostaje określenie, jak bardzo takie podejście zmienia rzeczywisty obraz ruchu w modelu. Przy założeniu, że respondenci nie posiadają alternatywnych „preferowanych” punktów dostępu do sieci komunikacyjnej w innych rejonach podejście to rzeczywiście nie wnosi niczego nowego do zagadnień modelowania ruchu. Jednak w przypadku, gdy znaczny odsetek respondentów posiada takie alternatywne punkty dostępu do sieci transportowej różniące się istotnie od dotychczasowych zmienia to w istotny sposób obraz obecnie wykonywanych modeli ruchu. Może to mieć także istotne konsekwencje w odniesieniu do kreślenia kierunków rozwoju systemu transportowego miasta. Jeśli różnica ta okaże się większa niż dopuszczalny obecnie próg kalibracji modeli rzędu 10% jest to asumptem do dalszych wnikliwych badań i analiz.

W ujęciu prezentowanym na rysunku 3 można mówić o „sztywnym” modelowaniu ruchu w przypadku klasycznych ankiet zachowań komunikacyjnych i odpowiednio „elastycznym” modelowaniu ruchu w przypadku propozycji przedstawionej w artykule. Lewa część rysunku odpowiada modelowaniu sztywnemu. Prezentowane na rysunku 2 podejście implikuje wniosek, że skonstruowany w oparciu o rzeczywiste przemieszczenia respondenta w sieci transportowej model ruchu jest wyłącznie jednym z n -dopuszczalnych teoretycznie modeli (stanów systemu transportowego, $n \geq 1$). Nie znaczy to oczywiście, że model oparty na rzeczywistych podróżach respondentów nie jest rozwiązaniem najlepszym. Jest to jednak tylko jedno z możliwych rozwiązań i należy sprawdzić czy nie jest to rozwiązanie najgorsze spośród możliwych alternatyw. Rozwiązanie to bowiem może wynikać wyłącznie z ograniczeń istniejących zarówno po stronie klienta sieci transportowej, jak również podmiotów zarządzających infrastrukturą i organizujących przewozy. Jeśli z kolei te ograniczenia są możliwe do usunięcia, w ramach działań z zakresu logistyki miejskiej, nic nie stoi na przeszkodzie w przeszukiwaniu wszystkich możliwych stanów modelu ruchu systemu transportowego - włączając w to nie tylko podróże realnie odbywane, ale również pożądane z punktu widzenia klienta. Na ograniczenia po stronie konsumenta sieci transportowej składają się m. in.: posiadanie bądź nie samochodu osobowego, dochód, sposób życia, nawyki ruchowe, wykonywana praca i wiele innych. Po stronie podmiotów zarządzających infrastrukturą i organizujących przewozy są to odpowiednio: posiadane środki transportu, dostępna infrastruktura liniowa i punktowa, źródła zasilania finansowego i wielkość nakładów, polityka kształtowania transportu etc.



Rys.3. Różne metody określania łańcucha przemieszczeń.
Źródło: Opracowanie własne.

W związku z powyższym, w celu określenia najlepszego możliwego modelu ruchu należy dokonać wyboru pomiędzy różnymi wariantami dopuszczalnymi z punktu widzenia próby reprezentatywnej. Dopiero taka procedura – uwzględniająca dopuszczalne rozwiązania (również preferowane podróże) – gwarantuje wybór modelu najlepszego. Opisane podejście może ponadto zmienić sposób zastosowań modeli ruchu z analiz zasadności wykonania danej inwestycji (po jej zaproponowaniu) do sytuacji, gdy to modele ruchu (wariantowane dzięki propozycjom respondentów) dają podstawy do rozważań nad przyszłym rozwojem sieci transportowej i poprzedzają pomysły na inwestycje infrastrukturalne w zakresie transportu, jak i inwestycje związane z rozwojem gospodarczym miasta⁵.

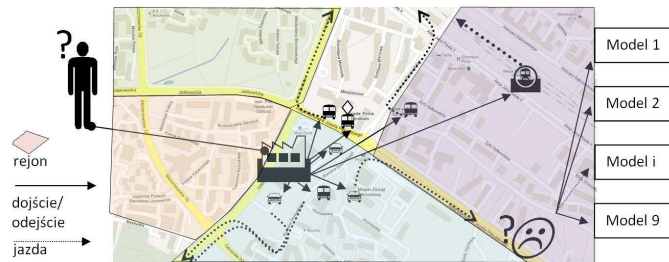
Z uwagi na wymienione przesłanki racjonalnym, jak się wydaje, może być podejście polegające na rozszerzeniu ankiet w przedmiocie badania zachowań komunikacyjnych mieszkańców o nowe pytania (poła rekordów). Oznacza to, że w trakcie ankiety respondent powinien być również pytany o alternatywne miejsce rozpoczynania podróży i jej kończenia w ramach istniejącej sieci drogowej z wyłączeniem przemieszczeń pieszych. Z pytaniem tym powinny być skorelowane pytania o przyczyny porzucenia możliwości skorzystania z tej (tych/tamtych) alternatywnych sposobów przemieszczania się. Dalszy wybór pomiędzy różnymi modelami przemieszczania się sprowadzony jest do wykonania analizy kosztów i korzyści pomiędzy różnymi rozwiązaniami alternatywnymi przy uwzględnieniu nakładów związanych z eliminacją przyczyny porzucenia tych alternatyw przez respondenta. Przykład korzystniejszej z punktu widzenia rozwiązania problemu modelowania ruchu formy ankiety w przedmiocie zachowań komunikacyjnych mieszkańców przedstawia rysunek 4.

⁵ Zależności między rozwojem infrastruktury transportu a rozwojem miast i regionów zostały szerzej opisane m. in. w [4] i [15].

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1					ALTERNATYWY									
2		start	koniec						rozpocz	czas	z	do	sirod	wiek
3		rejon_liczb	rejon_liczba	koniec	START_1	START_2	KONIEC_2	KONIEC_2	c5	c6	c8_1	c8_2	c9_1	xb5r
4		60	56						9,1	15	dom; miejs; nauka; szk; tramwaj			21
5		58	56						14,25	15	nauka; szk; dom; miejs; tramwaj			21
6		61	62						9,3	10	dom; miejs; nauka; szk; tylko; piesz			12
7		61	61						14	10	nauka; szk; dom; miejs; tylko; piesz			12
8		61	61						9,45	10	dom; miejs; nauka; szk; tylko; piesz			9
9		61	61						15,2	10	nauka; szk; dom; miejs; tylko; piesz			9
10		61	120						8	90	dom; miejs; nauka; szk; autobus			21
11		119	61						17	90	nauka; szk; dom; miejs; autobus			21

Rys.4. Proponowana forma ankiety w zakresie preferencji komunikacyjnych mieszkańców. Źródło: Opracowanie własne.

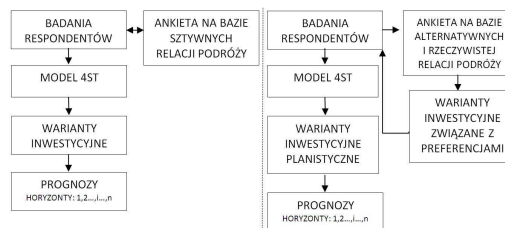
Racjonalność proponowanego podejścia zależy od wielu parametrów. Pierwszym i najważniejszym parametrem wpływającym na zakres stosowalności metody jest wskaźnik gęstości sieci transportowej. Naturalną praktyką powinno być stosowanie proponowanego podejścia w przypadkach gęstych sieci transportowych. Sieci te stwarzają dużą liczbę możliwych wariantów dróg dojazdu i odejścia w kierunku alternatywnych środków transportu, a w konsekwencji może to prowadzić do generacji różnych modeli ruchu. Wynika z tego, że rzeczywistym celem modelowania ruchu powinno być stworzenie przestrzeni możliwych i zasadnych ekonomicznie stanów modelu ruchu. Dopiero spośród tych rozwiązań powinno być wybrane rozwiązanie optymalne w zakresie zdefiniowanych kryteriów. Podejście prezentuje rysunek 5.



Rys.5. Idea kształtowania przestrzeni stanów dopuszczalnych modelu ruchu. Źródło: Opracowanie własne.

Rysunek 5 przedstawia rzeczywistą sytuację klienta centrum handlowego w pewnym mieście w Polsce. Klient ten opuszczając centrum ma do wyboru wiele możliwości odbicia podróży. Samochód osobowy może zaparkować na jednym z 5-7 parkingów (odległości do kilkuset metrów). Podróż wykonywaną samochodem osobowym do miejsca jej przeznaczenia może kontynuować na co najmniej 3 różne sposoby, wielokrotnie wariantowane. Na rysunku 5 przedstawiono wyłącznie 9 najważniejszych przypadków (nie wliczono wariantów dla różnych dróg podróży w tej samej relacji). Co najważniejsze podróż ta może odbyć się poprzez różne rejony komunikacyjne. Oznacza to dużą kombinację w zakresie rozkładu ruchu na rejony. Ponadto klient ten ma możliwość skorzystania z 3 różnych rodzajów środków komunikacji zbiorowej: autobusu, kolei i trolejbusu. Co więcej autobusy mogą poruszać się na różnych trasach osiągając ten sam cel podróży. Wliczając rower i łańcuchy kombinowane podróży liczba możliwych przemieszczeń przekracza znacznie 20 różnych przypadków. Sztwyne rozłożenie ruchu w 3 kroku 4SM dodatkowo wypaczy ten obraz ruchu.

Należy zadać pytanie: pod jakim względem prezentowane podejście różni się od rozważanych w modelowaniu ruchu alternatyw związanych z różnymi wariantami modeli ruchu, uwzględniającymi planowane inwestycje? W podejściu tym model ruchu dostosowywany jest do alternatywnych i preferowanych zachowań komunikacyjnych mieszkańców, nie zaś do planowanych inwestycji. Prezentuje tą różnicę rysunek 6.



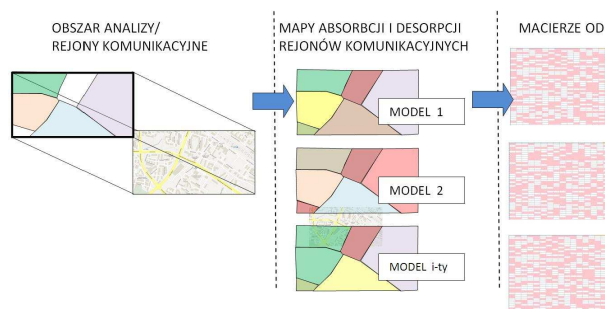
Rys.6. Proponowana koncepcja modelowania w stosunku do wariantu klasycznego 4SM. Źródło: Opracowanie własne.

Konsekwencją proponowanego podejścia w zakresie modelowania ruchu jest umieszczenie w ankiecie dotyczącej podróży również pytań o preferowany rejon pośredni podróży. Wybór takiego rejonu może wynikać z różnych preferencji respondenta. Preferencji, które nie mogą zostać zrealizowane w dotychczasowych modelach z różnych przyczyn zarówno leżących po stronie klienta sieci transportowej, jak również podmiotów zarządzających infrastrukturą drogową i komunikacją miejską. Obliczeniowo takie podejście nie zmienia istotnie algorytmu - przenosi tylko pewne operacje na etap zbierania danych i warunków ograniczających dla modelu ruchu. Na zasadzie antagonizmu można również w takiej ankiecie umożliwić zadeklarowanie rejonów niepożądaných w relacji przemieszczenia.

2. REJONY KOMUNIKACYJNE - ABSORPCJA I DESORPCJA RUCHU

W sieci transportowej w modelowaniu opartym na 4SM obszar analizy dzielony jest na rejony komunikacyjne. Na podstawie badań ankietowych oraz modelu generacji i absorpcji ruchu dla każdego z rejonów wyznaczany jest odpowiedni potencjał „wytwarzający” podróże oraz je pochłaniający. Należy zwrócić uwagę na fakt, że uwzględnienie w submodelu generacji i absorpcji ruchu podróży, które nie są odbywane, ale mogłyby być, pod pewnymi warunkami zmienia zupełnie rozkład ruchu. Wystarczy dla przykładu zmienić rozkład jazdy linii komunikacji zbiorowej, dostępność miejsc parkingowych, trasy linii komunikacji zbiorowej, organizację ruchu, parametry sterowania, a zmieni się również obraz ruchu. Zmiany te można odwzorować poprzez konstrukcję dynamicznych modeli ruchu albo, tak jak jest to proponowane w tym artykule, poprzez drobną modyfikację ankiet respondentów w zakresie zachowań komunikacyjnych (preferowanych). Jest to sposób formalny nie wymagający istotnych nakładów finansowych. W związku z taką metodyką podejścia do problemu modelowania ruchu można mówić o mapach odwzorowujących obszar modelowania dla różnych wariantów uwzględniających preferowane formy i sposoby podróżowania jego mieszkańców.

W szerszym aspekcie zamiast mówić o rejonach w ujęciu ich potencjału generującego i absorbującego należałoby je klasyfikować jako rejony absorpcji i desorpcji ruchu. To znaczy klasyfikować rejony jako ogniskujące ruch w sieci transportowej i ruch ten odpychające. W tym znaczeniu sieć transportowa przy uwzględnieniu tych rejonów absorpcji i desorpcji⁶ ruchu może być obrazowana różnymi mapami cyfrowymi, które odpowiadają różnym modelom ruchu. Przedstawia to rysunek 7.



Rys.7. Wielokryterialne mapy absorpcji i desorpcji ruchu dla rejonów komunikacyjnych.
Źródło: Opracowanie własne.

3. MODEL ABSORPCYJNO-DESORPCYJNY

W przypadku omawianym w artykule należy rozgraniczyć etapy poszczególnych submodeli 4SM. W praktyce z reguły wykonuje się w ramach algorytmu 4SM kilka odrębnych submodeli (procedur). W pierwszej kolejności wykonywany jest submodel rozkładu potoków między rejonowymi, w drugim realizuje się podział podróży na niepiesze i piesze np. zgodnie z modelem logitowym. Finalnie ruch między rejonowy rozkłada się na istniejące, bądź planowane do realizacji, trasy zgodnie z jednym z wielu stosowanych modeli. Ilustracja koncepcji prezentowanej w artykule zostanie wykonana w odniesieniu do submodelu rozkładu ruchu między rejonami komunikacyjnymi. Najczęściej stosowaną metodą jest model grawitacyjny. W modelu tym zakłada się, że liczba podróży między rejonowymi określana jest przez funkcję oporu przestrzeni. Zgodnie z pierwszym prawem analiz przestrzennych W. Toblera wszystko z przestrzeni jest ze sobą powiązane w funkcji odległości [17]. Oznacza to, że liczba podróży pomiędzy rejonami komunikacyjnymi spada wraz ze wzrostem odległości między nimi⁷. Stosując analogię do siły grawitacji w fizyce można zapisać liczbę podróży między rejonowych N równaniem:

$$N_{ij} = f_{ij}(l) * \frac{P_i(t)A_j(t)}{A_j(t)} \quad (1)$$

gdzie:

$f_{ij}(l)$ -funkcja oporu przestrzeni,

$P_i(t)A_j(t)$ - odpowiednio potencjał generujący i-tego rejonu i absorbujący j-tego.

Wzór (1) zapisano uwzględniając dynamiczny charakter potencjałów generujących i absorbujących ruch w rejonach komunikacyjnych sieci drogowej. W odniesieniu do koncepcji prezentowanej w artykule należy zaznaczyć, że na podstawie badania respondentów można wskazać nie jedną macierz potoków źródłowo-celowych dla próby reprezentacyjnej F^{OD} , lecz cały zbiór tych macierzy w zależności od klasyfikacji rejonów komunikacyjnych jako absorpcyjne lub desorpcyjne :

⁶ Desorpcja może wynikać z wielu przyczyn, m. in. z ograniczeń w dostępności transportowej oraz małej atrakcyjności rejonu komunikacyjnego z punktu widzenia motywacji podróży.

⁷ Na marginesie zauważyć należy, że w specyficznych sytuacjach zależność ta nie jest prawdziwa (temat ten przekracza ramy niniejszego artykułu).

$$SF^{OD} = \{F_1^{OD}, F_2^{OD}, \dots, F_n^{OD}\} \quad (2)$$

gdzie:

n - liczba alternatywnych rejonów, w których może być rozpoczynana i kończona podróż pod warunkiem usunięcia przeszkody w realizacji przemieszczenia w ten sposób.

Każdy model F_i^{OD} charakteryzuje się określoną proporcją rejonów o charakterze absorpcyjnym i desorpcyjnym. W tym sensie opracowując model ruchu dla obszaru należy wybrać model F_i^{OD} , który uwzględnia nie tylko istniejące relacje podróży, ale również relacje subiektywnie pożądane przez użytkowników systemu transportowego. Oznacza to prawdopodobnie zwiększenie dyspersji tras podróży w systemie transportowym, a z całą pewnością inny ich rozkład aniżeli w klasycznych modelach ruchu. Alternatywnym podejściem może być zastosowanie „ważenia” czasów dojazdu i odejścia w przypadku, gdyby respondent mógł wskazywać również alternatywne połączenia występujące w tym samym rejonie, co można zapisać w sposób następujący:

$$N_{ij} = f_{ij}(l) * \frac{P_i(t)A_j(t)}{A_j(t)} * (1/\sigma_{ii}) \quad (3)$$

gdzie:

σ_{ii} -odchylenie standardowe czasów dojazdu i odejścia w danym rejonie komunikacyjnym.

Równanie (3) podkreśla fakt, że w przypadku rejonów komunikacyjnych o dużej dyspersji czasów dojazdu i odejścia część podróży „przelecia” do sąsiednich rejonów komunikacyjnych. Większa dyspersja oznacza mniej podróży realizowanych zgodnie z punktem początkowym w danym rejonie. Innym możliwym sposobem uwzględnienia procesu przenoszenia podróży poza rejon generujący jednostki realizujące przemieszczenie jest wyrażenie tego zjawiska w postaci:

$$N_{ij} = f_{ij}(l) * \frac{P_i(t)A_j(t)}{A_j(t)} * (m_i / \sum m_j) \quad (4)$$

gdzie:

$m_i / \sum m_j$ - procent deklarowanych podróży rozpoczynanych z rejonu sąsiedniego w stosunku do lokalizacji rzeczywistego miejsca generacji podróży (rejonu). W sensie równań (2)-(4) można mówić o modelu absorpcyjno - desorpcyjnym ruchu (A-D).

4. ANALIZA CBA MODELI A-D

Zbiór dopuszczalnych modeli ruchu z punktu widzenia wariantów miejsca rozpoczynania i kończenia podróży w rzeczywistości jest funkcją kosztów przejścia poza rejon początkowy podróży (również kosztów umożliwienia takiego przejścia np. poprzez inwestycje w infrastrukturę). W tym znaczeniu zbiór taki powinien być przedmiotem typowej analizy CBA (ang. cost benefit analysis), co można zapisać jako optymalizację:

$$SF^{OD} = \min\{F_{K1}^{OD}, F_{K2}^{OD}, \dots, F_{Kn}^{OD}\} \quad (4)$$

gdzie:

$K1, K2, K3$ – koszty ponoszone na dostosowanie infrastruktury, organizacji transportu, zmiany zachowań komunikacyjnych mieszkańców regionu etc.

Respondenci w każdym rejonie komunikacyjnym wskazując alternatywne subiektywnie drogi dojazdu poprzez inne rejon komunikacyjne- wskazują SF^{OD} - dopuszczalny zbiór rozwiązań modeli ruchu. Na bazie tych odpowiedzi należy określić warianty kształtowania modeli ruchu przy określonych kosztach K_i .

5. WNIOSKI I UWAGI KOŃCOWE

Prezentowany model, a w zasadzie modyfikacja danych wejściowych dla modelu czterostopniowego (4SM) może być nazwana przyjazną dla użytkownika sieci transportowej. Model ten nie jest konstruowany na podstawie chwilowych wartości przemieszczeń obserwowanych w rzeczywistości, lecz na podstawie dopuszczalnego i preferowanego zbioru ich wartości. Co więcej, zbioru preferowanego przez klientów sieci drogowych, a nie przez organizatorów komunikacji zbiorowej, ruchu i zarządców infrastruktury drogowej. Można postawić śmiałą tezę, że w chwili obecnej konstruuje się model na bazie chwilowych charakterystyk ruchu, co często jest odzwierciedleniem ograniczeń rzeczywistej sieci transportowej i ruchu na niej, a nie odpowiada potrzebom użytkowników. W kolejnym kroku poprzez narzucane nierzadko na drodze arbitralnej decyzji w sferze inwestycji infrastrukturalnych analizie poddawana jest konkretna inwestycja, co

„usztynia” możliwości planowanego rozwoju miasta do rozwiązań często dalekich od oczekiwań mieszkańców (użytkowników generujących rozwój gospodarczy regionu). Można dywagować czy klienci sieci drogowych powinni dostosować swoje zachowania komunikacyjne do istniejących form organizacji i struktur infrastruktury drogowej czy też miejsce powinien mieć proces odwrotny. Odpowiedzi na to pytanie udzielą dalsze analizy zachowań komunikacyjnych mieszkańców. Powinny one dotyczyć zbadania udziału podróży w ruchu generowanym w danym rejonie, które przy drobnych zmianach o charakterze inwestycyjnym mogłyby się kończyć i rozpoczynać w innych rejonach komunikacyjnych. Problem ten nabiera szczególnej wagi w gęstych sieciach transportowych. Autorzy proponują wykonanie odpowiednich symulacji na bazie modeli mikrosymulacyjnych ruchu, jak również na bazie pomiarów badań ankietowych.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] 2009 National Household Travel Survey User's Guide, U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, February 2011 (Version 1).
- [2] Ben-Akiva M., Lerman S.: *Discrete choice analysis-Theory and application to travel demand*. MIT Press Cambridge, Massachusetts 1985.
- [3] Celiński I., Sierpiński G.: *Możliwości wykorzystania architektury systemów GSM w modelowaniu, planowaniu i obsłudze transportu publicznego i prywatnego w obszarach zurbanizowanych*. Logistyka 6/2011, s. 401-408.
- [4] Domańska A.: *Wpływ infrastruktury transportu drogowego na rozwój regionalny*. PWN, Warszawa 2006.
- [5] Helbing D., Nagel K.: *The physic of traffic and regional development*, Contemporary Physics , volume 45, 2004.
- [6] Jaspers, *Niebieska księga. Sektor transportu publicznego*, Warszawa 2008.
- [7] Karoń G., Janecki R., Sobota A., z zespołem: *Program inwestycyjny rozwoju trakcji szynowej na lata 2008 – 2011. Analiza ruchu*. Praca naukowo - badawcza, Wydział Transportu Politechniki Śląskiej, Katowice 2009.
- [8] Lu X., Pas E. I.: *Socio-demographics, activity participation and travel behavior*, Transportation Research Part A 33, Elsevier 1999, pp. 1-18.
- [9] Mareivoet S.: *Modeling traffic on motorways*. Uniwersytet Katolicki w Lueven, 2006.
- [10] McGuckin N., Nakamoto Y.: *Trips, Chains, and Tours—Using an Operational Definition*, The National Household Travel Survey Conference, 1-2 November 2004.
- [11] McGuckin N.: *Expertise in the Interpretation and Forecasting of Travel*, <http://www.travelbehavior.us/> (odsłona 24.01.2012).
- [12] *Metoda budowy baz danych o drogowym ruchu miejskim. Poradnik metodyczny*, Zeszyty Naukowo-Techniczne Oddziału Stowarzyszenia Inżynierów i Techników komunikacji w Krakowie, seria Monografie, Nr 7, Zeszyt 80, Kraków 2000.
- [13] Mitchell R.B., Rapkin C.: *Urban traffic- A function of land use*, Columbia University Press, New York 1954.
- [14] Podoski J.: *Transport w miastach*. WKiŁ, Warszawa 1997.
- [15] Rosik P., Szuster M.: *Rozbudowa infrastruktury transportowej a gospodarka regionów*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2008.
- [16] Sierpiński G.: *Travel behavior and alternative modes of transportation*. Transport Systems Telematics. Communications in Computer and Information Science, Springer, Springer Volume 239, Heidelberg 2011, pp. 86-93.
- [17] Suhecki B. (red.): *Ekonometria przestrzenna. Metody i modele analizy przestrzennej*. Wydawnictwo C.H. Beck. Warszawa 2010.
- [18] *Travel Survey Manual*, Travel Model Improvement Program, Prepared by Cambridge Systematic, Inc., for U. S. Department of Transportation and U.S. Environmental Protection Agency, July 1996.
- [19] Travel Survey Methods Committee (ABJ40): *The On-Line Travel Survey Manual*, <http://www.travelsurveymanual.org/> (odsłona 24.01.2012).