

Renata ŻOCHOWSKA

Politechnika Śląska, Wydział Transportu, Katedra Inżynierii Ruchu
ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice
renata.zochowska@polsl.pl

MODELE WYBORU DROGI WYKORZYSTYWANE W BUDOWIE DYNAMICZNYCH MACIERZY PODRÓŻY

Streszczenie:

Jednym z najważniejszych etapów modelowania ruchu w miastach jest odwzorowanie zachowań podróżnych związanych z decyzją o wyborze drogi. Problem ten jest szczególnie istotny w gęstych sieciach miejskich, dla których efektywne zarządzanie ruchem często związane jest z określaniem tzw. dynamicznych macierzy podróży wyznaczanych na podstawie chwilowych wartości natężeń ruchu na odcinkach sieci. W artykule zidentyfikowano podstawowe problemy związane z modelowaniem procesów decyzyjnych dotyczących wyboru drogi w sieciach miejskich. Na tym tle przedstawiono klasyfikację stosowanych modeli. Podkreślono również szczególną rolę informacji w procesie podejmowania decyzji.

Słowa kluczowe: modele wyboru drogi, gęste sieci miejskie, dynamiczne macierze podróży.

WPROWADZENIE

Modelowanie zachowań komunikacyjnych podróżnych oraz odpowiednie odwzorowanie podejmowanych przez nich decyzji jest zagadnieniem bardzo złożonym i stanowi od wielu lat przedmiot intensywnych badań. Wybór drogi przez poszczególnych podróżnych jest zależny od wielu czynników zarówno o charakterze obiektywnym, jak i subiektywnym, a ich identyfikacja wymaga odpowiednich zbiorów zawierających m.in. dane o zagospodarowaniu przestrzennym obszaru, warunkach ruchu w sieci transportowej, systemach organizacji i zarządzania oraz dostępności określonego typu informacji. Dane te mogą charakteryzować się różnym poziomem szczegółowości, co ma istotny wpływ na dokładność i wiarygodność odwzorowania. Ponadto bardziej złożone modele wymagają uwzględnienia zmiennego i losowego charakteru procesów decyzyjnych podróżnych oraz zjawisk zachodzących w sieci.

Modele wyboru drogi przez podróżnych opierają się na określeniu zależności pomiędzy charakterystykami popytu i podaży w systemie transportowym. Do opisu zmienności popytu w czasie wykorzystuje się tzw. dynamiczne macierze podróży, które są aktualizowane w określonych interwałach [13, 14, 15]. Macierze takie można stosować w systemach służących do efektywnego zarządzania ruchem, kiedy w sytuacjach krytycznych (np. wypadki, roboty drogowe, awarie, kongestia) niezbędna staje się wiedza o źródłach i celach podróży poszczególnych uczestników ruchu. Dopiero na tej podstawie można wyznaczać optymalne trasy objazdowe w sieciach miejskich.

W gęstych sieciach miejskich modelowanie zachowań podróżnych jest znacznie bardziej złożone. Sieci te charakteryzują się m.in. częstymi zakłóceniami ruchu pojazdów spowodowanymi wysoką koncentracją skrzyżowań, znacznymi odchyłkami w rozrzucie wielkości potoku i stopnia obciążenia sieci prowadzącymi często do kongestii i wydłużenia czasu podróży oraz większymi możliwościami wyboru drogi w porównaniu z innymi typami sieci. W związku z tym ruch z punktu źródłowego do docelowego jest rozkładany zazwyczaj

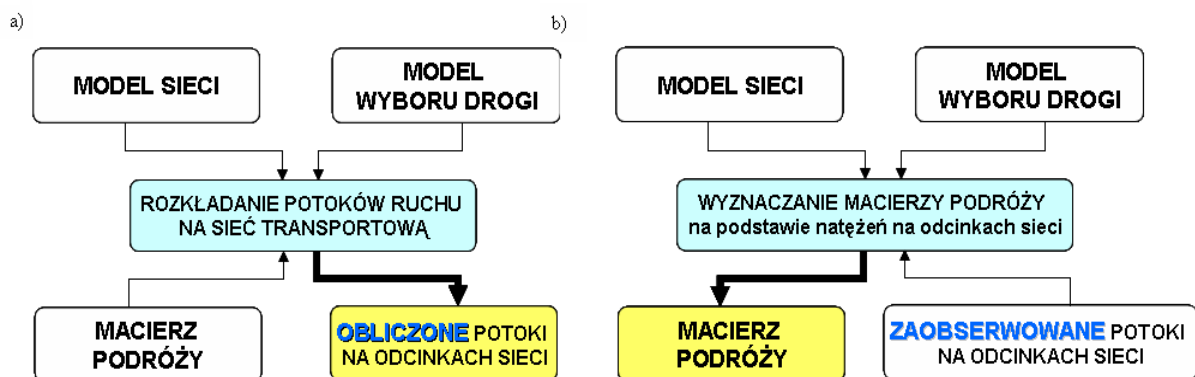
na większą liczbę dróg, a problem określenia wielkości potoku przenoszonego tymi drogami stanowi jeden z podstawowych elementów decydujących o dokładności odwzorowania ruchu.

1. CHARAKTERYSTYKA DYNAMICZNYCH MACIERZY PODRÓŻY

W zagadnieniach związanych z modelowaniem ruchu analizowany obszar podzielony jest zwykle na pewną liczbę rejonów komunikacyjnych reprezentowanych przez środki ciężkości (centroidy), które określa się, jako miejsca kumulacji potencjału wyjazdowego i dojazdowego rejonu. Model sieci przedstawiany jest zwykle w postaci grafu skierowanego w przestrzeni dwuwymiarowej. W rozwiązaniach praktycznych środki ciężkości można powiązać z modelem sieci transportowej za pomocą tzw. połączeń o określonych charakterystykach [3].

Zasadniczym problemem jest odpowiednie odwzorowanie popytu. W ujęciu statycznym popyt na transport reprezentowany jest zwykle w postaci dwuwymiarowej macierzy podróży sporządzanej dla określonego środka transportu, której poszczególne komórki reprezentują wielkość potoku ruchu wyrażoną liczbą podróży realizowanych pomiędzy parą rejonów komunikacyjnych [9]. Ujęcie dynamiczne wymaga wprowadzenia dodatkowego wymiaru odwzorowującego zmienność popytu w czasie.

Klasykne macierze podróży, uzyskiwane na podstawie zakrojonych na szeroką skalę badań ankietowych oraz wielu szczegółowych informacji socjologicznych i demograficznych, zwykle charakteryzują się wysokim stopniem zagregowania opierając się na wartościach uśrednionych. Stąd nie uwzględniają chwilowych zmian w rozkładzie przestrzennym ruchu wynikających z pór dnia, sezonowości, aktualnych warunków ruchu czy czynników atmosferycznych. Dlatego do wyznaczania tzw. dynamicznych macierzy podróży wykorzystuje się zwykle metody oparte na znajomości natężeń na odcinkach sieci [1, 13, 14, 15], które nie tylko są znacznie tańsze w porównaniu z metodami klasycznymi, ale również stanowią źródło danych umożliwiające identyfikację zmienności ruchu w czasie. Wyznaczanie macierzy podróży na podstawie znajomości natężeń na odcinkach sieci jest problemem odwrotnym do problemu rozkładu potoków ruchu na sieć i polega na znalezieniu wiarygodnej macierzy podróży, która po rozłożeniu na sieć transportową z jak największym stopniem dokładności odwzoruje zaobserwowane natężenia ruchu. Przedstawiono to w sposób schematyczny na rys.1.



Rys. 1. Porównanie procesu (a) rozkładania potoków na sieć transportową oraz (b) wyznaczania macierzy podróży na podstawie natężeń na odcinkach sieci.

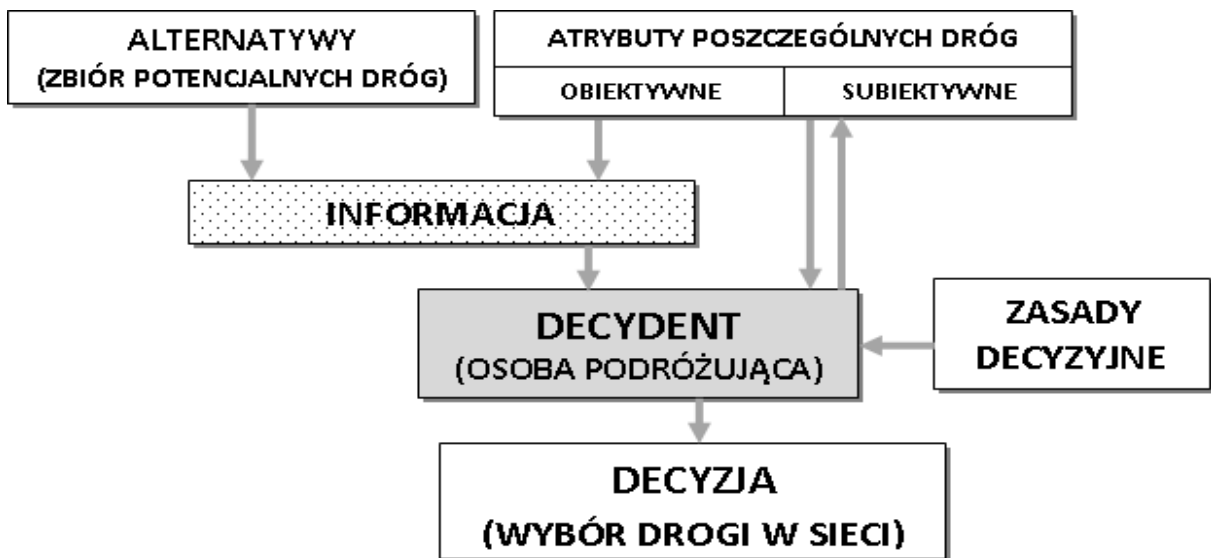
Źródło: opracowanie własne na podstawie [3]

W wyniku zastosowania modelu wyboru drogi do rozkładania potoków ruchu na sieć transportową uzyskuje się wartości natężeń ruchu na poszczególnych elementach sieci. Dla

określonych środków transportu najczęściej stosuje się różne metody rozłożenia potoków ruchu na sieć lub rozkłady te są przeprowadzane w sposób niezależny. Zarówno w przypadku wyznaczania dynamicznych macierzy podróży, jak i procesu rozłożenia macierzy podróży na sieć, model wyboru drogi stanowi daną wejściową.

2. MODELE WYBORU DROGI I ICH KLASYFIKACJA

Proces wyboru drogi przez użytkownika sieci jest zagadnieniem złożonym i uzależnionym od wielu czynników, które można ująć w sposób schematyczny jak na rys.2. Modele wyboru drogi wykorzystywane w praktyce są głównie modelami behawioralnymi a odpowiednie funkcje określone na elementach sieci będące ich atrybutami są, w przeważającej części, zmiennymi zależnymi od wskaźników jakości funkcjonowania systemu transportowego wyznaczonych na podstawie charakterystyk podaży sieci.



Rys. 2. Schematyczne ujęcie procesu decyzyjnego związanego z wyborem drogi.

Źródło: opracowanie własne.

Zagadnienie wyboru drogi należy do grupy problemów decyzyjnych i jak w większości modeli behawioralnych obejmuje trzy fazy [3]:

- FAZA 1: identyfikacja pełnego zbioru alternatyw,
- FAZA 2: określenie zbioru realnych alternatyw,
- FAZA 3: budowa modelu wyboru drogi na podstawie określonej zasady decyzyjnej.

Faza 1 opiera się na założeniu, że podróżny przemieszcza się ze źródła do celu podróży drogą składającą się z sekwencji wierzchołków i odcinków w grafie reprezentującym sieć drogową [6, 8]. Jako pełny zbiór alternatyw przyjmuje się wszystkie drogi proste dla analizowanej relacji podróży. Jednak w gęstych sieciach o złożonej topologii liczba dróg wygenerowanych w fazie 1 może okazać się nierealistycznie duża. Dlatego w fazie 2 następuje ograniczenie zbioru analizowanych dróg tylko do najbardziej realnych alternatyw. W tym celu można wykorzystać metody heurystyczne, które zakładają pewne ograniczenia behawioralne. Przykładowo w dalszej analizie mogą być uwzględniane jedynie [3, 4]:

- drogi zawierające odcinki w jak najmniejszym stopniu odchylone od prostej łączącej źródło i cel podróży,

- drogi, dla których uogólniony koszt podróży nie przekracza minimalnego kosztu o określoną wartość,
- drogi o najniższych uogólnionych kosztach podróży,
- drogi o minimalnych wartościach określonych atrybutów (np. czas, koszt, długość),
- drogi nie zawierające nierealnych sekwencji odcinków (np. wielokrotne powtarzanie wyjazdów i wyjazdów na tą samą autostradę),
- drogi zawierające wspólne odcinki na znacznej długości.

Zasady te mogą stanowić warunki ograniczające zagadnienie optymalizacyjne związane z problemem decyzyjnym odnoszącym się do wyboru drogi w sieci. Kryteria wykorzystywane w modelach generowania realnych dróg dla sieci o dużym stopniu złożoności muszą być kalibrowane podobnie jak inne parametry modelu wyboru drogi (np. poprzez porównanie dróg generowanych przez model z drogami postrzeganymi lub wybranymi przez określoną próbę podróżnych i odpowiednią korektę parametrów modelu w celu uzyskania maksymalnej zbieżności z danymi rzeczywistymi z próby).

Faza 3 obejmuje wyznaczenie prawdopodobieństwa wyboru drogi p przez użytkownika k (interpretowanego również jako udział podróżnych należących do klasy K) w realizacji podróży w relacji (a, b) z wykorzystaniem środka transportu m w czasie t opisanego jako $Pr_{km}^{p,ab}(t)$. Dla poszczególnych grup użytkowników $k \in K$ oraz wykorzystywanych środków transportu $m \in M$ można określić probabilistyczny model wyboru drogi w postaci trójwymiarowej (droga, relacja, czas) macierzy prawdopodobieństw Pr . Określony w ten sposób model wyboru drogi powinien spełniać m.in. podstawowe warunki matematyczne [3]:

- warunek ciągłości – zakłada, że małe zmiany w koszcie drogi będą wywoływać małe zmiany w prawdopodobieństwie jej wyboru,
- warunek monotoniczności – gwarantuje, że wzrost kosztu na drodze p w czasie t będzie wywoływać spadek prawdopodobieństwa jej wyboru w tym czasie.
- brak wrażliwości na zmianę skali – zapewnia, że żadna zmiana w skali atrybutów opisujących drogę, wykorzystywanych w modelu, nie wpłynie na zmianę wartości prawdopodobieństwa jej wyboru. Przykładowo, nie ma znaczenia czy czas podróży wyrażany jest w godzinach, czy minutach.

W zależności od sposobu uwzględnienia zmienności prawdopodobieństwa wyboru drogi w czasie można wyróżnić **modele statyczne i dynamiczne**. W modelach statycznych prawdopodobieństwo wyboru drogi dla danej struktury sieci i stałego popytu jest niezmiennie. W modelach dynamicznych można wyróżnić dwie podgrupy modeli opartych na różnych założeniach behawioralnych:

- wybór oparty na **chwilowych** atrybutach drogi,
- wybór oparty na **prognozowanych** atrybutach drogi.

Zarówno w pierwszym, jak i w drugim przypadku wartości atrybutów drogi (zwykle czasy podróży) mogą być wynikiem doświadczeń osoby podróżującej lub efektem sprawnego działania systemów informacyjnych.

3. MODELOWANIE FUNKCJI KOSZTU PRZEMIESZCZANIA DROGĄ

Zazwyczaj podstawową zasadą przy wyborze drogi podczas rozkładu ruchu w sieci jest założenie, że osoba podróżująca wybiera połączenie o najmniejszym przewidywanym koszcie przejazdu. W powszechnie wykorzystywanych modelach wskaźnikami wpływającymi na wybór drogi są również: przewidywany czas podróży, długość drogi oraz opłaty drogowe.

Syntetyczna funkcja kosztu przemieszczania określoną drogą w sieci, nazywana również funkcją oporu drogi, jest sumą kosztów przemieszczania poszczególnymi elementami tej drogi, do których należą oprócz odcinków również podłączenia oraz węzły sieci [11].

Pierwsze funkcje oporu wykorzystywane w modelowaniu wyboru drogi, interpretowane jako koszt przemieszczania poszczególnymi odcinkami sieci, miały postać prostych zależności o charakterze liniowym, a jako kryterium wyboru drogi najczęściej przyjmowano odległość. Rozwój technik komputerowych pozwolił na stosowanie coraz bardziej złożonych i coraz dokładniej odwzorowujących rzeczywistość funkcji, których szczegółowy przegląd można znaleźć w pracy [7].

W bardziej złożonych modelach należy dodatkowo uwzględnić również wiele innych czynników (np. wpływ znajomości drogi przez stałych użytkowników sieci, stopień zamożności mieszkańców poszczególnych rejonów itd.). Stąd warto podzielić podróżnych na jednorodne pod względem zachowań komunikacyjnych grupy. Najczęściej stosowane charakterystyki podróżnych, które mogłyby stanowić podstawę takiego podziału to [2]:

- wrażliwość na czas podróży,
- dostęp do informacji,
- motywacja podróży.

Czas podróży, który jest podstawowym atrybutem drogi, w sposób zasadniczy wpływający na zachowanie podróżnych, może być w różny sposób postrzegany przez poszczególnych użytkowników sieci w zależności od czynników obiektywnych (np. pora dnia, poziomu zamożności, itp.) i subiektywnych (np. zdenerwowanie, zmęczenie, itp.). Wrażliwość poszczególnych podróżnych na czas podróży, określana często jako „wartość czasu” [11], może być modelowana za pomocą zmiennej o charakterze ciągłym (np. wartość pieniężna odpowiadająca jednostce czasu spędzonej w podróży) lub skokowym (np. określone poziomy przydzielone zakresom czasu spędzonego w sieci). Pod względem stopnia dostępu do informacji można podzielić podróżnych np. na tych, którzy mają pełny lub częściowy dostęp do informacji oraz tych, którzy takiego dostępu nie mają. Może to być modelowane przez zastosowanie jednej zmiennej binarnej (dostęp/brak dostępu) lub za pomocą kilku zmiennych binarnych, gdzie każda z nich charakteryzuje określony typ informacji dostępny dla osoby podróżującej (np. informacja przez rozpoczęciem podróży, możliwość wykorzystania nawigacji samochodowej itp.). Należy jednak pamiętać, że dostęp do informacji nie oznacza, że podróżny będzie zachowywał się zgodnie z przewidywaniami. W związku z tym można dokonać kolejnego podziału w zależności od reakcji na dostępną informację. Motywacja podróży stanowi typowe kryterium klasyfikacji poszczególnych podróżnych. Należy jednak zauważyć, że cecha ta jest silnie skorelowana z wrażliwością poszczególnych podróżnych na czas podróży.

Ponadto dynamiczny model procesu decyzyjnego wymaga bardziej szczegółowej reprezentacji zachowania użytkowników sieci niż klasyczny model równowagi. W szczególności należy w sposób dokładny odwzorować dwa zjawiska, które zazwyczaj są pomijane w modelach statycznych, tj. [3]:

- aktualizacja obecnie dokonywanych wyborów w zależności od wyborów podejmowanych w poprzednich interwałach czasu, z uwzględnieniem nawyków poszczególnych podróżnych – ang. *choice updating model*,
- proces ewolucji zachowań podróżnych w zależności od doświadczenia i informacji dotyczącej kosztów podróży w poprzednich interwałach czasu, z uwzględnieniem pamięci i ulotności informacji – ang. *utility updating model*.

Uogólniony koszt przemieszczania $c_{km}^{p,ab}(t)$ k -tego podróżnego m -tym środkiem transportu p -tą drogą w relacji (a, b) w czasie t jest zwykle liniową kombinacją n atrybutów

drogi $z_{km_n}^{p,ab}(t)$ oraz współczynników ekwiwalentnych $\beta_{km_n}^{p,ab}(t)$ określających wagę określonego atrybutu:

$$c_{km}^{p,ab}(t) = \sum_n \beta_{km_n}^{p,ab}(t) \cdot z_{km_n}^{p,ab}(t) \quad (1)$$

Różni użytkownicy mogą w charakterystyczny dla siebie sposób postrzegać koszty podróży dla tego samego odcinka, nawet przy podobnych warunkach zewnętrznych. Ponadto, postrzeganie tego czasu przez jednego podróżnego może być inne w poszczególnych porach dnia. W modelu uwzględniono to w postaci różnych wartości współczynników ekwiwalentnych $\beta_{km_n}^{p,ab}(t)$. Należy również założyć, że postrzegany koszt przemieszczania odcinkiem drogi powinien być reprezentowany przez zmienną losową o rozkładzie uwzględniającym wszystkich użytkowników, której wartość oczekiwana jest uogólnionym kosztem podróży tym odcinkiem.

Budując postać funkcyjną kosztu przemieszczania określoną drogą p dla poszczególnego użytkownika k należącego do grupy K przemieszczającego się środkiem transportu m należącym do grupy M w relacji (a, b) w czasie t należy uwzględnić zarówno składniki addytywne, jak i nieaddytywne:

$$c_{km}^{p,ab}(t) = c_{km}^{ADDp,ab}(t) + c_{km}^{NADDp,ab}(t) \quad (2)$$

Dla addytywnego atrybutu drogi, wartość dla całej drogi może być wyznaczana jako suma wartości dla wszystkich odcinków tworzących tę drogę, tzn. spełniony powinien być warunek:

$$c_{km}^{ADDp,ab}(t) = \sum_{(i,j) \in L^{p,ab}} c_{km_{ij}}^{ADDp,ab}(t) \quad (3)$$

gdzie:

$L^{p,ab}$ - zbiór odcinków (i, j) , które są elementami p -tej drogi w relacji (a, b) .

W tabeli 1 zestawiono atrybuty drogi najczęściej wykorzystywane w modelach wyboru, z podziałem na addytywne i nieaddytywne.

Tabela 1. Atrybuty drogi wykorzystywane w opisie kosztów przemieszczania

ATRYBUTY DROGI	
ADDYTYWNE	NIEADDYTYWNE
<ul style="list-style-type: none"> • czas podróży, • długość, • liczba skrzyżowań z sygnalizacją świetlną, • liczba relacji skrajnych, • liczba odcinków z ograniczeniem prędkości, • opłaty zależne od długości odcinka. 	<ul style="list-style-type: none"> • stopień zatłoczenia, • estetyka drogi, • hierarchiczna struktura ruchu, • wykorzystanie autostrad i dróg szybkiego ruchu, • stopień zagrożenia, • średnia prędkość ruchu, • stopień zróżnicowania prędkości w potoku, • negatywne oddziaływanie na środowisko, • duże natężenie ruchu ciężarowego, • jakość nawierzchni.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [10].

4. CHARAKTERYSTYKA NAJCZĘŚCIEJ WYKORZYSTYWANYCH MODELI WYBORU DROGI

Najprostsza możliwa zasada decyzyjna zakłada, że każdy użytkownik wybiera drogę o minimalnych kosztach przemieszczania. Algorytmy najkrótszych ścieżek stosowane w tych modelach prowadzą do rozkładu, gdzie wszystkie podróże realizowane w danej relacji

nakładane są na jedną ścieżkę (rozkład „wszystko albo nic” - AON). Rozwiązania takie mogą być stosowane przy małym obciążeniu ruchem lub w przypadku sieci o specyficznej topologii. Pewnym uogólnieniem metody AON jest metoda K najkrótszych ścieżek, polegająca na generowaniu zbioru dróg, które mogą potencjalnie być rozważane przez określoną grupę podróżnych.

W przypadku zatłoczenia problem wyboru drogi staje się złożony i często wymaga zastosowania procedur iteracyjnych, aby uzyskać stan równowagi zgodny z zasadą Wardropa, zakładającą jednakowe koszty przemieszczania wszystkimi wykorzystywanymi drogami w sieci w danej relacji podróży [12]. Model ten następnie został rozwinięty do postaci stochastycznej (SUE) wykorzystującej wielomianowy model logitowy do rozkładu potoku na wszystkie realne drogi w określonej relacji. Podstawową słabością modelu logitowego jest warunek niezależności poszczególnych alternatyw, co w przypadku problemu wyboru drogi w gęstych sieciach miejskich nie jest spełnione ze względu na możliwość występowania odcinków wspólnych niektórych dróg w tej samej relacji podróży. Można domniemywać, że postrzegane koszty przemieszczania dla dróg posiadających wspólne odcinki są w znacznym stopniu skorelowane powodując generowanie nierealistycznych prawdopodobieństw. W takich sytuacjach zaleca się wykorzystywanie zmodyfikowanych modeli logitowych (C-Logit, Path-Size Logit, Cross-Nested Logit) lub modelu probitowego. W modelu logitowym C-Logit wprowadzono dodatkowy współczynnik CF (ang. *commonality factor*) uwzględniający udział części wspólnej dwóch dróg w ich długości. Z kolei w modelu typu Path-Size Logit przyjmuje się założenie, że drogi ze wspólnymi odcinkami nie są rozpatrywane przez podróżnych jako oddzielne alternatywy. Stąd postać funkcyjna zawiera współczynnik PS korygujący związany z długością drogi [3].

Model C-Logit ma behawioralną interpretację w postaci logitowego modelu Percepcji i Pośredniej Dostępności (IAP Logit). Współczynnik CF występujący w modelu C-Logit może być interpretowany jako atrybut modelu IAP Logit, określający poziom udziału $\mu_{P_{km}(t)}^{ab}(p)$ drogi p w zbiorze postrzeganych dróg w relacji (a, b) dla k -tego użytkownika przemieszczającego się środkiem transportu m czasie t oznaczonym jako $P_{km}^{ab}(t)$. Wykładnicza zależność pomiędzy tymi współczynnikami jest zgodna z założeniem, że percepcja drogi p jako elementarnej alternatywy jest większa, jeżeli jej część wspólna z innymi drogami jest mniejsza i odwrotnie. Najczęściej wykorzystywane modele wyboru drogi oraz funkcje prawdopodobieństwa dla niektórych z nich zestawiono w tabelicy 2. W zapisie pominięto indeksy oznaczające typ użytkownika k , środek transportu m oraz interwał czasu t .

Tabela 2. Najczęściej wykorzystywane modele wyboru drogi

MODEL	AUTOR	POSTAĆ FUNKCYJNA
Równowaga użytkownika (UE)	Wardrop (1952)	-
Wielomianowy logitowy – model stochastyczny (SUE/MNL)	Dial (1971)	$P_r^{p,ab} = \frac{\exp(-c^{p,ab}/\theta)}{\sum_{r \in Pab} \exp(-c^{r,ab}/\theta)}$
C-Logit	Cascetta (1997)	$P_r^{p,ab} = \frac{\exp[-(c^{p,ab}/\theta) - CF^{p,ab}]}{\sum_{r \in Pab} \exp[-(c^{r,ab}/\theta) - CF^{r,ab}]}$
Path-Size Logit	Ben-Akiva (1998)	$P_r^{p,ab} = \frac{\exp[-(c^{p,ab}/\theta) - \ln PS^{p,ab}]}{\sum_{r \in Pab} \exp[-(c^{r,ab}/\theta) - \ln PS^{r,ab}]}$
Cross-Nested Logit	Bekhor, Vovsha (1998)	$P_r^{p,ab} = \frac{\alpha^{np} \cdot \exp(-c^{p,ab}/\theta)}{\sum_{r \in Pab} \alpha^{nr} \cdot \exp(-c^{r,ab}/\theta)}$
Wielomianowy probitowy	Daganzo (1977)	-
Logit Kernel	Ben-Akiva, Bolduc (1996), McFadden, Train (1998)	-
IAP Logit	Cascetta (1998)	$P_r^{p,ab} = \frac{\exp[-(c^{p,ab}/\theta) - \ln \mu_{pab}(p)]}{\sum_{r \in Pab} \exp[-(c^{r,ab}/\theta) - \ln \mu_{pab}(r)]}$

Źródło: opracowanie własne na podstawie [3, 10]

W tabeli 2 przyjęto następujące oznaczenia:

- $P_r^{p,ab}$ - prawdopodobieństwo wyboru p -tej drogi w relacji (a, b) ,
- $c^{p,ab}, c^{r,ab}$ - koszt przemieszczania p -tą (r -tą) drogą w relacji (a, b) ,
- P^{ab} - zbiór dróg w relacji (a, b) ,
- θ - parametr rozkładu,
- $CF^{p,ab}, CF^{r,ab}$ - współczynniki rozkładu C-Logit,
- $PS^{p,ab}, PS^{r,ab}$ - współczynniki rozkładu typu Path-Size Logit,
- α^{np}, α^{nr} - współczynniki rozkładu Cross-Nested Logit,
- $\mu_{pab}(p), \mu_{pab}(r)$ - współczynniki rozkładu IAP Logit.

5. WPLYW INFORMACJI NA PROCES DECYZYJNY

Ważnym elementem modelowania dynamicznych procesów decyzyjnych jest uwzględnienie informacji dostępnej dla podróżnych, która ze względu na moment jej otrzymania może być podzielona na dwie podstawowe kategorie [3]:

- informacja dostępna przed rozpoczęciem podróży (informacja typu *pre-trip*),
- informacja dostępna podczas trwania podróży (informacja typu *en-route*).

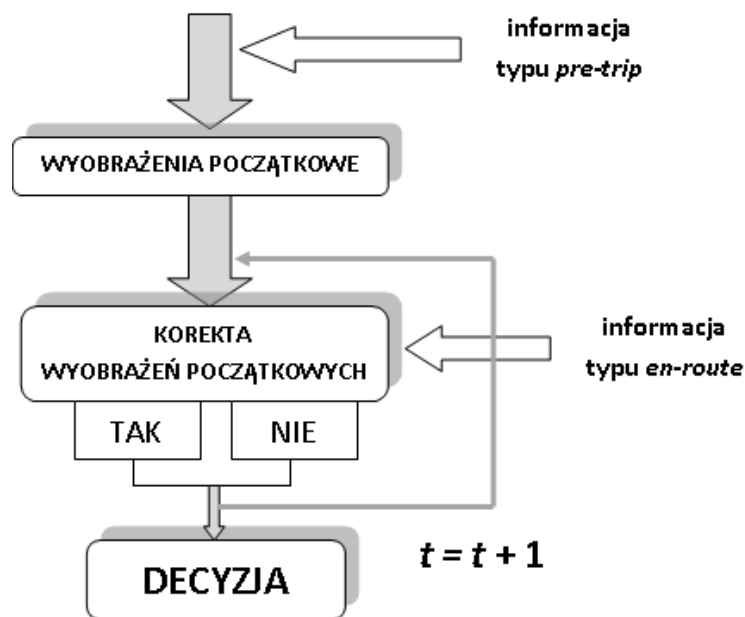
Informacja uzyskana przed podjęciem podróży umożliwia zaplanowanie podróży poprzez m.in. wybór odpowiedniej drogi czy środka transportu. Coraz ważniejszym źródłem pozyskiwania tego typu informacji, obok telewizji, radia i usług telefonicznych, staje się Internet. Z kolei informacja typu *en-route* umożliwia podróżnym dokonywanie bieżącej korekty w planie podróży poprzez dostarczenie danych o aktualnych zmianach w ruchu oraz oferowanie alternatywnych sposobów kontynuowania podróży. Informacja tego typu przekazywana jest zwykle w postaci znaków zmiennej treści lub systemów nawigacji samochodowej.

Modelowanie zachowań komunikacyjnych w przypadku korzystania z informacji podczas trwania podróży jest znacznie bardziej złożone, gdyż wymaga zastosowania modeli, które symulują efekty decyzji podejmowanych przez użytkowników w strategicznych węzłach sieci. Ogólnie proces decyzyjny podróżnego można przedstawić schematycznie jak

na rys. 3 [5]. Poszczególni użytkownicy sieci analizują otrzymane informacje, przetwarzają je i na tej podstawie modyfikują (lub nie) wyobrażenia o stanie ruchu, a następnie dostosowują do nich swoje decyzje i działania.

Reakcje podróżnych zależą od zawartości dostępnej informacji, jej typu, sposobu prezentacji oraz atrybutów (wiarygodność, dokładność, znaczenie). Również cechy samych podróżnych mają istotny wpływ na wykorzystanie informacji o ruchu. Ponadto warto zauważyć, że często informacje o charakterze predykcyjnym pochodzą z prognoz przyszłych warunków, ale te warunki same są uzależnione od tego, w jaki sposób użytkownicy zareagują na prognozy, które otrzymają. Innymi słowy, istnieje sprzężenie zwrotne pomiędzy informacją predykcyjną a obecnym wykorzystaniem sieci oraz reakcjami samych podróżnych na te informacje. Należy jednak zauważyć, że nawet w sytuacji pełnego dostępu do informacji, nie ma pewności, że podróżny rzeczywiście z niej skorzysta w chwili podejmowania decyzji o wyborze drogi.

Ogólną klasyfikację poszczególnych typów informacji przedstawiono w tabeli 3.



Rys. 3. Wpływ informacji na proces decyzyjny

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [5]

Tabela 3. Klasyfikacja informacji

KRYTERIUM	TYP INFORMACJI
Typ	opisowa
	normatywna (nakazowa)
Dostępność	przed realizacją podróży (typu <i>pre-trip</i>)
	w trakcie realizacji podróży (typu <i>en-route</i>)
Stopień aktualności	historyczna
	aktualna
	predykcyjna
Sposób prezentacji	jakościowa
	ilościowa
Zmienność w czasie	statyczna
	dynamiczna

Źródło: opracowanie własne na podstawie [3]

PODSUMOWANIE

Podróźni podejmujący decyzje związane z podróżowaniem są ograniczeni szeregiem czynników zależnych m.in. od zagospodarowania przestrzennego obszaru, struktury sieci transportowej, systemu obsługi oraz indywidualnych uwarunkowań. Informacja wspomagająca podjęcie decyzji o sposobie i przebiegu podróżowania może być pozyskiwana w sposób aktywny (przez czytanie, pytanie, słuchanie) lub bierny (poprzez doświadczenie) z różnych źródeł. Droga uznana przez poszczególnych podróżnych za satysfakcjonującą może się w znacznym stopniu różnić od drogi optymalnej. Ważną rolę odgrywają tu takie czynniki, jak istotność decyzji, oczekiwane koszty podróży, wysiłki związane z poszukiwaniem innej alternatywy oraz dostępność i wiarygodność informacji. Różny stopień percepcji tych czynników przez poszczególnych podróżnych uzasadnia konieczność modelowania wyboru drogi oddzielnie dla określonych użytkowników ruchu.

Dynamiczne sformułowanie modelu wyboru drogi może być wykorzystywane w metodach wyznaczania macierzy podróży i polega na modelowaniu sposobu, w jaki stan sieci zmienia się w czasie. Dodatkowo, poziom wiedzy podróżnego na temat wielkości ruchu w sieci stale rozwija się w zależności od otrzymanej informacji oraz własnych doświadczeń związanych z przemieszczaniem w sieci w poprzednich interwałach czasu. Większość ze stosowanych powszechnie metod wyboru drogi nie nadaje się do opisu zjawisk dynamicznych. Metody posiadają również wiele wad, które powodują, że nie odzwierciedlają one w pełni sytuacji ruchowej w sieciach o ograniczonej przepustowości skrzyżowań czy w sieciach silnie przeciążonych ruchem. Większość prac opisuje zjawiska w sposób statyczny, podając jedynie wartości natężeń w godzinie szczytu. Dla tych wartości oblicza się miary efektywności ruchu, jak np. średnie straty czasu czy długość występującej kolejki.

W rzeczywistości jednak zjawiska związane z ruchem zmieniają się w sposób ciągły i przedstawienie ich jako zmiennych w czasie daje lepsze odwzorowanie sytuacji rzeczywistej. Zjawiska takie można przedstawić m.in. za pomocą procesów stochastycznych lub szeregów czasowych. Sieci drogowe cechują się losowymi odchyleniami w strukturze ruchu w ciągu dnia i zazwyczaj każdy dzień prezentuje różny zbiór ograniczeń. Podróźni, którzy regularnie przemieszczają się w sieci w sposób ewolucyjny zmieniają swoje zachowania, dostosowują je do aktualnych warunków i dokonują najkorzystniejszych dla siebie wyborów podróży.

Ze względu na losowy charakter zjawisk zachodzących w sieci oraz zachowań podróżnych proces wyboru drogi, który zostanie następnie wykorzystany w budowie dynamicznych macierzy podróży powinien być opisany zależnościami stochastycznymi. Większość dotychczas wykorzystywanych modeli ma jednak charakter uproszczony. Najlepsze odwzorowania rzeczywistych zachowań podróżnych otrzymano przy zastosowaniu modeli probabilistycznych, w których prawdopodobieństwa wyboru drogi opisane są w sposób probitowy lub za pomocą zmodyfikowanych modeli logitowych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Abrahamsson T.: Estimation of origin-destination matrices using traffic counts – a literature survey. Interim Report of International Institute for Applied Systems Analysis, IR-98-021/May, Laxenburg 1998.
- [2] Ben-Akiva M., Bierlaire M.: Discrete Choice Methods and Their Application to Short-Term Travel Decisions. W: Hall, Randolph W. (ed.): Handbook of Transportation Science. 2nd ed. International Series in Operations Research & Management Science, Vol. 56. New York: Springer, 2003.

- [3] Cascetta E.: *Transportation Systems Analysis. Models and Applications*. 2nd Edition. Springer Optimization and Its Application, Vol.29. New York 2009.
- [4] Cascetta E., Russo F., Viola F. A., Vitetta A.: A model of route perception in urban road network, *Transportation research B36* (2002), pp.577-592.
- [5] Dorosiewicz S.: *Potoki ładunków w sieciach transportowych*. Instytut Transportu Samochodowego, Warszawa 2010.
- [6] Jacyna M.: *Modelowanie i ocena systemów transportowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
- [7] Jastrzębski W.: Funkcje oporu odcinka. Materiały konferencyjne V Konferencja Naukowo – Techniczna SITK nt.: *Transport a Rozwój Zrównoważony* – Poznań 17-19 maja 2005 (s. 291 - 322).
- [8] Leszczyński J.: *Modelowanie systemów i procesów transportowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1994.
- [9] Ortuzar J. De D., Willumsen L. G.: *Modelling transport*. 3rd Edition. Wiley, New York 2009.
- [10] Ramming S. M.: *Network Knowledge and Route Choice*, Doctor Thesis, Massachusetts Institute of Technology February 2002.
- [11] VISUM wersja 7.50 – podręcznik użytkownika. PTV VISION, Karlsruhe 2000.
- [12] Wardrop J. G.: Some theoretical aspects of road traffic research. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Part II* (1952), pp. 352-362.
- [13] Żochowska R.: Dynamiczne macierze podróży w sieciach miejskich. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport, z. 66*, Gliwice 2010, s.129-138.
- [14] Żochowska R.: Wyznaczanie dynamicznych macierzy podróży w sieciach miejskich, Referat wygłoszony na Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Transport XXI wieku”. Białowieża 21-24 września 2010. *Czasopismo „Logistyka” 4/2010*, Wydawnictwo ILiM w Poznaniu.
- [15] Żochowska R., Karoń G., Macioszek E.: Wyznaczanie macierzy podróży w sieciach miejskich – klasyfikacja i przegląd metod. Referat wygłoszony na II Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo – Technicznej „Modelowanie podróży i prognozowanie ruchu”. Kraków 18-19 listopada 2010r. *Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK RP o/Kraków, Nr 94 (Zeszyt 153)*, Kraków 2010, s.327-349.

ROUTE CHOICE MODELS USED IN DYNAMIC OD MATRIX ESTIMATION

Abstract:

Travel behavior modeling related with decision of route choice is a fundamental aspect of demand analysis in cities. The problem is especial important in dense urban network, where efficient traffic management systems require dynamic OD matrix estimation. They are usually determined on base of aggregate information considered to be traffic counts, that is, counts of user flows on some links of the transportation network. The basic problems related with modeling of decision making process in urban networks have been identifying in the article. On that background the classification and specification of used models have been presented. The special role of information in the process was also underlined.

Key words: route choice models, dense urban network, dynamic OD matrix.