

RENATA ŻOCHOWSKA

dr hab. inż., Politechnika Śląska,
ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice
tel.: +48 32 6034121, e-mail:
renata.zochowska@polsl.pl

ALEKSANDER SOBOTA

dr inż., Politechnika Śląska, ul.
Krasińskiego 8, 40-019 Katowice
tel.: +48 32 6034121, e-mail:
aleksander.sobota@polsl.pl

GRZEGORZ KARON

dr inż., Politechnika Śląska, ul.
Krasińskiego 8, 40-019 Katowice
tel.: +48 32 6034159, e-mail:
grzegorz.karon@polsl.pl

Modele generowania podróży w obszarze miejskim na przykładzie Bielska-Białej¹

Streszczenie: Pierwszy etap budowy czterostopniowego modelu transportowego wymaga opracowania modelu powstawania ruchu. Obejmuje on identyfikację czynników ruchotwórczych oraz określenie ich wpływu na liczbę podróży generowanych. Właściwe przeprowadzenie tego procesu ma kluczowe znaczenie w dalszych etapach modelowania, a co za tym idzie – wpływa na jakość całego modelu transportowego. W artykule przedstawiono przegląd metod opracowywania modeli generowania ruchu wewnętrznego w obszarze miejskim. Jako zasadnicze kryterium klasyfikacji przyjęto zastosowaną technikę matematyczną odwzorowania procesu powstawania ruchu. Praktyczną część artykułu stanowi opis konstruowania modeli generowania ruchu opracowanych na potrzeby budowy modelu transportowego Bielska-Białej.

Słowa kluczowe: modele generowania ruchu, czynniki ruchotwórcze, potrzeby transportowe

Wprowadzenie

Modelowanie podróży oparte na podejściu czterostopniowym zostało po raz pierwszy opisane w 1954 roku przez R.B. Mitchella i Ch. Rapkina [14]. Modele tego typu umożliwiają wykonanie kompleksowych analiz i prognoz ruchowych oraz zawierają matematyczny opis odwzorowania popytu transportowego w zakresie:

- potencjału generowanego,
- rozkładu przestrzennego podróży,
- wyboru sposobu podróżowania,
- rozkładu popytu/podróży w sieci transportowej.

W 1979 roku M.L. Manheim rozbudował strukturę modelu, uwzględniając w nim wpływ rodzaju aktywności związanej ściśle z zagospodarowaniem przestrzennym obszaru na zachowania transportowe użytkowników systemu transportowego i kształtowanie ruchu w mieście [13]. Od tego czasu modelowanie czterostopniowe jest szeroko wykorzystywane do oceny istotnych zmian w systemach transportowych obszarów zurbanizowanych.

Pierwszy etap modelu podróży, nazywany generowaniem ruchu, ma zasadnicze znaczenie dla całego procesu modelowania. Wymaga on bowiem identyfikacji właściwych czynników wpływających na wielkość ruchu generowanego przez poszczególne rejony transportowe analizowanego obszaru, co w konsekwencji rzutuje na wiarygodność opracowanej

prognozy ruchu. Ponadto wybór poziomu agregacji danych przyjęty na tym etapie również istotnie wpływa na właściwe określenie wielkości ruchu w obszarze miejskim [1].

W artykule przedstawiono przegląd modeli generowania ruchu wewnętrznego w obszarze miejskim. Szczególną uwagę zwrócono na zastosowaną technikę matematyczną odwzorowania procesu powstawania podróży oraz poziom agregacji danych. Opisano również sposób konstruowania modeli generowania ruchu opracowanych dla miasta Bielsko-Biała, które w subregionie południowym województwa śląskiego koncentrują największą liczbę podmiotów gospodarczych, oraz ośrodków administracyjnych, naukowych i kulturalnych [16].

Metody modelowania generowania podróży w obszarach miejskich

Ruch generowany w obszarach miejskich uzależniony jest od wielu czynników wpływających na procesy decyzyjne użytkowników systemu transportowego. Budowa modelu generowania podróży wymaga zatem starannie przeprowadzonej analizy uwzględniającej złożoność tych procesów oraz skomplikowane współzależności występujące pomiędzy strukturą aktywności a systemem transportowym [5, 14]. Za najistotniejsze determinanty zjawiska powstawania ruchu należy uznać [19]:

- czynniki charakteryzujące mieszkańców analizowanego obszaru,
- czynniki charakteryzujące zagospodarowanie przestrzenne miasta,
- czynniki charakteryzujące infrastrukturę transportową,
- czynniki związane z czasem.

Wybrane zmienne odnoszące się do wymienionych charakterystyk zamieszczono w tabeli 1.

Modele generowania podróży można podzielić na podstawie wielu kryteriów. Jedne z najistotniejszych to [15, 19]:

- zastosowana technika matematyczna,
- poziom agregacji danych (zmiennych).

Klasyfikację opartą na wymienionych wyżej kryteriach przedstawiono na rysunku 1.

Do tradycyjnych technik matematycznych należy zaliczyć:

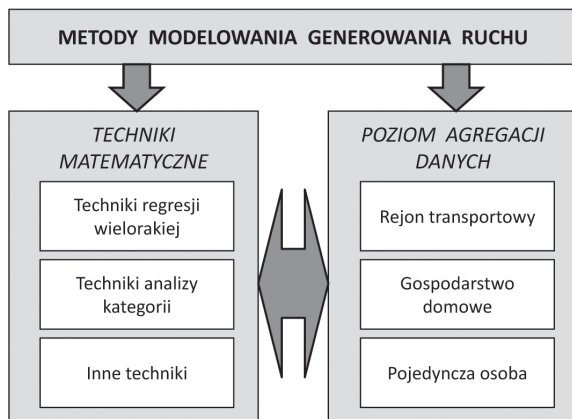
- modele regresji wielorakiej,
- modele analizy kategorii.

¹ ©Transport Miejski i Regionalny, 2016. Wkład autorów w publikację: R. Żochowska 34%, A. Sobota 33%, G. Karoń 33%.

Tabela 1

Czynniki ruchotwórcze uwzględniane w modelach generowania ruchu	
Grupa czynników	Zmienne
czynniki charakteryzujące gospodarstwa domowe oraz pojedynczych mieszkańców	<ul style="list-style-type: none"> – liczba osób w rodzinie, – liczba osób zawodowo czynnych w rodzinie, – dochód rodziny, – liczba samochodów w rodzinie, – liczba osób z prawem jazdy w rodzinie, – liczba dzieci w rodzinie, – zawód głowy rodziny, – dochód przypadający na członka rodziny, – aktywność zawodowa osoby, – przynależność do grup społecznych o różnych formach aktywności, – wiek osoby, – płeć osoby, – posiadanie małych dzieci,
czynniki charakteryzujące analizowany obszar, jego topologię i zagospodarowanie przestrzenne	<ul style="list-style-type: none"> – gęstość zaludnienia w rejonie zamieszkania, – odдалenie miejsca zamieszkania od centrum (mierzone odległością lub czasem), – średnia odległość miejsca zamieszkania od pozostałych rejonów, – średnia odległość miejsc zamieszkania od miejsc pracy i nauki, centrów handlowych i innych miejsc stanowiących miejsca docelowe podróży, – średnia gęstość zaludnienia w mieście,
czynniki charakteryzujące infrastrukturę transportową	<ul style="list-style-type: none"> – średni czas dojścia do przystanku transportu zbiorowego, – gęstość sieci transportu zbiorowego, – średnia odległość miejsca zamieszkania od centrum mierzona czasem dojazdu środkami transportu zbiorowego, – opłata za przejazd środkami transportu zbiorowego, – koszt eksploatacji środków transportu,
czynniki związane z czasem	<ul style="list-style-type: none"> – pora dnia, – dzień tygodnia, – pora roku

Źródło: [1, 19]



Rys. 1. Klasyfikacja metod modelowania generowania ruchu

Źródło: [1, 19]

W modelach regresji wielorakiej zakłada się istnienie liniowej zależności pomiędzy wielkością ruchu a czynnikami społeczno-ekonomicznymi obszaru podzielonego na mniejsze jednostki terytorialne. W związku z tym liczba podróży w motywacji realizowanych przez mieszkańców i -tego rejonu transportowego określana jest według wzoru:

$$Y_{i,m} = \sum_k b_{k,m} \cdot X_{k,i} \quad (1)$$

gdzie:

- k – numer zmiennej objaśniającej (niezależnej) charakteryzującej czynnik ruchotwórczy
- $X_{k,i}$ – wartość k -tej zmiennej objaśniającej dla i -tego rejonu transportowego
- $b_{k,m}$ – współczynnik regresji (parametr modelu) dla k -tej zmiennej objaśniającej w motywacji m .

W modelach analizy kategorii zakłada się, że liczba podróży jest zależna od charakterystyk gospodarstw domowych (rodzin) lub pojedynczych osób, które dzielone są na określoną liczbę kategorii. W przypadku agregacji danych do poziomu gospodarstwa domowego liczba podróży $Y_{i,m}^{\text{rodz}}$ w motywacji m realizowanych przez gospodarstwa domowe i -tego rejonu transportowego określana jest według zależności:

$$Y_{i,m}^{\text{rodz}} = \sum_n \alpha_{n,m}^{\text{rodz}} \cdot L_{i,n}^{\text{rodz}}, \quad (2)$$

przy czym:

$$L_{i,n}^{\text{rodz}} = \text{Pr}^{\text{rodz}}(i, n) \cdot L_i^{\text{rodz}} \quad (3)$$

gdzie:

- n – numer lub oznaczenie kategorii
- $\alpha_{n,m}^{\text{rodz}}$ – dobowy wskaźnik ruchliwości gospodarstwa domowego kategorii n w motywacji m
- $L_{i,n}^{\text{rodz}}$ – liczba gospodarstw domowych kategorii n w i -tym rejonie transportowym
- L_i^{rodz} – liczba gospodarstw domowych w i -tym rejonie transportowym
- $\text{Pr}^{\text{rodz}}(i, n)$ – prawdopodobieństwo, że gospodarstwo domowe z populacji L_i^{rodz} reprezentuje kategorię n .

Analogicznie dla pojedynczej osoby liczba podróży $Y_{i,m}^{\text{os}}$ w motywacji m realizowanych przez mieszkańca i -tego rejonu transportowego określana jest według wzoru:

$$Y_{i,m}^{\text{os}} = \sum_n \alpha_{n,m}^{\text{os}} \cdot L_{i,n}^{\text{os}}, \quad (4)$$

przy czym:

$$L_{i,n}^{\text{os}} = \text{Pr}^{\text{os}}(i, n) \cdot L_i^{\text{os}} \quad (5)$$

gdzie:

- $\alpha_{n,m}^{\text{os}}$ – dobowy wskaźnik ruchliwości mieszkańca kategorii n w motywacji m
- $L_{i,n}^{\text{os}}$ – liczba mieszkańców kategorii n w i -tym rejonie transportowym
- L_i^{os} – liczba mieszkańców w i -tym rejonie transportowym
- $\text{Pr}^{\text{os}}(i, n)$ – prawdopodobieństwo, że mieszkaniec z populacji L_i^{os} reprezentuje kategorię n .

Prawdopodobieństwa $\text{Pr}^{\text{rodz}}(i, n)$ oraz $\text{Pr}^{\text{os}}(i, n)$ wyznaczone są na podstawie określonych charakterystyk odpowiednio gospodarstw domowych i mieszkańców, które są podstawą do kategoryzacji. Dla każdej z tych zmiennych należy znaleźć rozkłady prawdopodobieństw, a następnie połączyć je w jeden rozkład wielowymiarowy [19].

Istnieje również wiele alternatywnych podejść do modelowania powstawania ruchu w mieście. Jednym z nich jest podejście oparte na teorii użyteczności, które ma zastosowanie również w pozostałych etapach czterostopniowego modelu podróży [2]. Modele konstruowane w ten sposób wymagają identyfikacji współzależności pomiędzy poszczególnymi aktywnościami realizowanymi przez użytkownika

systemu transportowego miasta w ciągu doby [6, 7, 8, 10]. Przykładowo, w przypadku osoby pracującej część potrzeb może być realizowana jedynie poza czasem pracy. Lokalizacja miejsca pracy może również determinować pozostałe aktywności podejmowane w ciągu dnia.

Alternatywy odnoszące się do zachowań komunikacyjnych na etapie generowania ruchu mogą być wyrażone jako:

- podejmowanie lub niepodejmowanie podróży;
- podejmowanie lub niepodejmowanie kolejnej podróży w przypadku, gdy określona liczba podróży już została zrealizowana.

Modele tego typu określane są jako *stop-go models* i można w nich wykorzystywać m.in. binarne modele logitowe, modele geometryczne oraz modele Poissona [4, 5, 11].

Charakterystyka struktury modelu popytu dla ruchu wewnętrznego Bielska-Białej

Bielsko-Biała jest stolicą subregionu południowego, jednego z czterech obszarów polityki rozwoju województwa śląskiego. Subregion południowy tworzą poza miastem Bielsko-Biała również powiaty bielski, cieszyński i żywiecki [17]. Jego powierzchnia wynosi 2352 km² (około 19% powierzchni województwa śląskiego), a ludność odpowiednio 647,5 tys. (około 14% ogółu ludności województwa) [18]. Natomiast miasto Bielsko-Biała położone jest na Pogórzu Śląskim. Obszar ten ograniczony jest dolinami Olzy na zachodzie, Skawy na wschodzie, na południu oddzielony jest od pasm Beskidu Śląskiego i Beskidu Małego, natomiast na północy przechodzi w Kotlinę Oświęcimską i Ostrawską [22]. Powierzchnia miasta wynosi 124,5 km², a ludność odpowiednio 173,7 tysiąca mieszkańców [16, 21].

W układzie funkcjonalno-przestrzennym subregionu południowego miasto Bielsko-Biała pełni szczególną rolę. Stanowi ono bowiem centrum handlowo-usługowe, gospodarczo-administracyjne oraz naukowe i kulturalne. W obszar miasta wchodzi także rozległe tereny rekreacyjno-wypoczynkowe o wysokich walorach krajobrazowych położone głównie w południowej części Bielska-Białej. Ponad 50% powierzchni miasta stanowią tereny zielone. Wszystko to powoduje, że przy modelowaniu ruchu w tym obszarze należy wziąć pod uwagę nie tylko różnorodność czynników ruchotwórczych, ale również niejednorodność użytkowników systemu transportowego miasta (ruch gospodarczy, rekreacyjny).

Do największych i najważniejszych generatorów ruchu zlokalizowanych na terenie miasta Bielska-Białej zaliczyć należy [16]:

- osiedla mieszkaniowe;
- placówki oświatowe;
- strefy inwestycyjne;
- duże i średnie zakłady pracy;
- obiekty sportowe, rekreacyjne, kulturalne;
- obiekty handlowo-usługowe;
- instytucje publiczne;
- inne generatory ruchu, takie jak placówki służby zdrowia czy cmentarze.

Funkcje pełnione przez generatory ruchu determinują charakter realizowanych doń podróży. W przypadku miejsc nauki oraz zakładów pracy są to podróże o charakterze bezwzględnie obligatoryjnym. Muszą być one wykonywane codziennie i regularnie w wyróżnionych okresach doby i w ustalonych z góry kierunkach (relacjach) – cele podróży zostały wybrane wcześniej – na etapie decyzji o miejscu zatrudnienia oraz miejscu edukacji. W przypadku urzędów, instytucji czy obiektów usługowo-handlowych podróże mają charakter względnie obligatoryjny, tzn. ich częstotliwość oraz występowanie w dobie jest bardziej zróżnicowane niż podróży bezwzględnie obligatoryjnych. Ponadto rozkład przestrzenny celów takich podróży jest bardziej zróżnicowany i zależny od codziennych decyzji podróżnych. Trzecia grupa podróży, które wiążą się ze spędzaniem czasu wolnego – podróże w celach rozrywkowych, kulturalnych i sportowych etc. – cechuje się największą zmiennością i nieregularnością w czasie i przestrzeni, co w istotnym stopniu utrudnia odwzorowanie w okresie doby, a jeszcze bardziej w godzinach szczytowych.

Generatory ruchu bezwzględnie obligatoryjnego są ponadto czynnikami tworzącymi zjawisko tzw. migracji wahadłowych, czyli takich, które związane są głównie z codziennymi dojazdami osób zamieszkujących obszary podmiejskich sypialni lub innych miast do miejsc nauki i zakładów pracy zlokalizowanych poza miejscem zamieszkania. Skala migracji wahadłowych jest wyznacznikiem procesów zachodzących w silnie zurbanizowanych regionach. Zjawisko to ma kluczowy wpływ na funkcjonowanie miasta, a szczególnie systemów transportowych.

Uwarunkowania, o których mowa, a także zasoby bazy danych obiektów ogólnogeograficznych, z których korzystano, charakteryzując czynniki ruchotwórcze, wpłynęły na zdefiniowanie par aktywności. Budując model transportowy dla miasta Bielsko-Biała, zastosowano szczegółowe podejście i dokonano segregacji popytu transportowego dla ruchu wewnętrznego. Wyróżniono 9 par aktywności (motywacji podróży)²:

- D-P („dom-praca”) – podróże rozpoczynane w miejscu zamieszkania i kończone w miejscu wykonywania pracy zawodowej;
- D-N („dom-nauka”) – podróże rozpoczynane w miejscu zamieszkania i kończone w miejscu nauki;
- D-ChZU („dom-centrum handlowe, zakupy”) – podróże rozpoczynane w miejscu zamieszkania i kończone w miejscu wykonywania zakupów;
- D-I („dom-inne cele”) – podróże rozpoczynane w miejscu zamieszkania i kończone w miejscu realizacji innych celów (nie wymienionych wcześniej);
- P-D („praca-dom”) – podróże rozpoczynane w miejscu wykonywania pracy zawodowej i kończone w miejscu zamieszkania;

² Dla porównania w modelu transportowym Katowic (2015 r.) wyróżniono następujące motywacje podróży [20]: Dom – Praca (D-P), Praca – Dom (P-D), Dom – Nauka (D-N), Nauka – Dom (N-D), Dom – Inne (D-I), Inne – Dom (I-D), Nie Związane z Domem (NZD).

- N-D („nauka-dom”) – podróże rozpoczynane w miejscu nauki i kończonych w miejscu zamieszkania,
- ChZU-D („centrum handlowe, zakupy-dom”) – podróże rozpoczynane w miejscu wykonywania zakupów i kończone w miejscu zamieszkania,
- I-D („inne cele-dom”) – podróże rozpoczynane w miejscu realizacji innych celów (nie wymienionych wcześniej) i kończone w miejscu zamieszkania,
- NZD („niezwiązane z domem”) – podróż, w których ani miejsce źródłowe, ani docelowe nie jest związane z miejscem zamieszkania.

Dodatkowo wyróżniono 3 grupy osób o jednorodnych zachowaniach transportowych:

- P – osoby pracujące, w wieku produkcyjnym i czynne zawodowo,
- U – osoby uczące się,
- PZ – osoby pozostałe (nienależące do wcześniej wymienionych grup).

W wyniku powiązania grup osób o jednorodnych zachowaniach transportowych i realizowanych przez te osoby par aktywności otrzymano 27 warstw popytu transportowego.

Modele generacji podróży dla Bielska-Białej

W modelu transportowym miasto Bielsko-Biała zostało podzielone na 213 rejonów transportowych, dla których określono szczegółowe dane ruchotwórcze dla roku bazowego (2014), niezbędne do opracowania modelu ruchu. Dane te obejmują:

- liczbę mieszkańców w wyróżnionych przedziałach wiekowych;
- liczbę osób w wieku szkolnym i akademickim;
- liczbę miejsc pracy;
- liczbę miejsc w szkołach różnego typu (szkoły podstawowe, gimnazja, szkoły średnie, uczelnie wyższe);
- infrastrukturę usług publicznych, zdrowotnych, obiektów handlowo-usługowych, religijnych, ośrodków kulturalnych i terenów rekreacyjnych.

Zmienne charakteryzujące dane ruchotwórcze w zakresie: infrastruktury usług publicznych, zdrowotnych, handlowo-usługowych, religijnych, ośrodków kulturalnych i terenów rekreacyjnych pozyskiwano z bazy danych obiektów ogólnogeograficznych. Baza ta zawiera informacje o liczbie obiektów danej kategorii oraz o powierzchni tych obiektów. Na podstawie analizy zgromadzonego materiału stwierdzono, że informacje o powierzchni nie są kompletne. Stąd jako zmienne w modelach generacji i absorpcji ruchu uwzględniono wyłącznie liczbę obiektów danej kategorii.

W modelu generacji ruchu przyjęto zależność liniową o ogólnej postaci:

$$P_i^m(wp) = \sum_{k=1}^n a_k^m(wp) \cdot X_{k,i}^m(wp) \quad (6)$$

gdzie:

$P_i^m(wp)$ – zmienna objaśniana będąca potencjałem generowania ruchu w rejonie komunikacyjnym i

rozumianym jako liczba podróży rozpoczynanych w rejonie komunikacyjnym i realizowanych w motywacji m przez osoby należące do grupy wp w określonym przedziale czasu (doba, godzina szczytu)

$a_k^m(wp)$ – wartość k -tego parametru modelu ($k = 1, \dots, n$), wyznaczonego dla podróży realizowanych w motywacji m przez osoby należące do grupy wp w określonym przedziale czasu

$X_{k,i}^m(wp)$ – wartość k -tej zmiennej objaśniającej w rejonie komunikacyjnym i , wpływającej na generowanie podróży realizowanych w motywacji m przez osoby należące do grupy wp w określonym przedziale czasu.

Z modelem generacji jest związany bezpośrednio (poprzez liczbę realizowanych podróży) model absorpcji ruchu, którego postać ogólną można zapisać również w postaci liniowej jako:

$$A_j^m(wp) = \sum_{k=1}^n b_k^m(wp) \cdot X_{k,j}^m(wp) \quad (7)$$

gdzie:

$A_j^m(wp)$ – zmienna objaśniana będąca potencjałem absorbowania ruchu przez rejon komunikacyjny j , rozumianym jako liczba podróży kończonych w rejonie komunikacyjnym j realizowanych w motywacji m przez osoby należące do grupy wp w określonym przedziale czasu (doba, godzina szczytu)

$b_k^m(wp)$ – wartość k -tego parametru modelu ($k = 1, \dots, n$), wyznaczonego dla podróży realizowanych w motywacji m przez osoby należące do grupy wp w określonym przedziale czasu

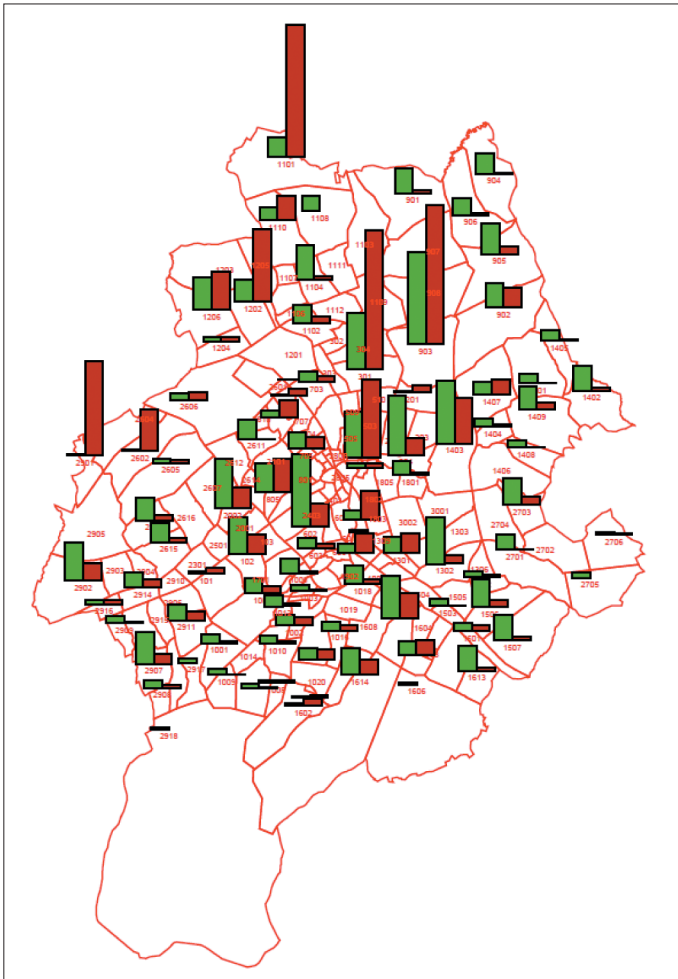
$X_{k,j}^m(wp)$ – wartość k -tej zmiennej objaśniającej w rejonie komunikacyjnym j , wpływającej na absorbowanie podróży realizowanych w motywacji m przez osoby należące do grupy wp w określonym przedziale czasu.

Modele generowania ruchu skonstruowano oddzielnie dla poszczególnych 27 warstw popytu ze względu na różnorodne czynniki ruchotwórcze charakterystyczne dla każdej z warstw. W modelach generacji i absorpcji przyjęto 21 zmiennych objaśniających:

- liczba osób w wieku 9 lat i więcej,
- liczba osób w wieku 9–12 lat,
- liczba osób w wieku 13–15 lat,
- liczba osób w wieku 16–18 lat,
- liczba osób w wieku 19–24 lat,
- liczba osób w wieku 19–64 lat,
- liczba miejsc pracy,
- liczba miejsc w przedszkolach,
- liczba miejsc w szkołach podstawowych,
- liczba miejsc w gimnazjach,
- liczba miejsc w szkołach średnich,
- liczba miejsc na uczelniach wyższych,

- powierzchnia budynków handlowo-usługowych,
- liczba ogólnodostępnych obiektów kulturalnych,
- liczba budynków kultury fizycznej i placów sportowych
- liczba budynków handlowo-usługowych,
- liczba budynków do sprawowania kultu religijnego i czynności religijnych,
- liczba budynków szpitali i zakładów opieki medycznej,
- liczba budynków biurowych,
- liczba budynków szkół i instytucji badawczych,
- liczba pozostałych budynków niemieszkalnych.

Wielkość ruchu generowanego i absorbowanego dla wybranej warstwy popytu przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Dobowa wielkość ruchu generowanego (kolor zielony) i absorbowanego (kolor czerwony) w poszczególnych rejonach komunikacyjnych przez osoby pracujące realizujące podróże w tańcu motywacji „Dom-Praca”

Źródło: opracowanie własne

Podsumowanie

Artykuł dotyczy zagadnień związanych z konstruowaniem modeli generowania ruchu na potrzeby budowy modelu transportowego. Przedstawiono metody modelowania procesu powstawania ruchu oraz strukturę modeli dla Bielska-Białej.

Dla 27 warstw popytu opracowano 54 modele generacji ruchu wewnętrznego (27 dla generacji ruchu i 27 dla absorpcji). Do ich budowy wykorzystano 21 zmiennych obja-

śniających reprezentujących następujące czynniki ruchotwórcze:

- strukturę demograficzną mieszkańców;
- liczbę miejsc pracy;
- liczbę miejsc w szkołach i uczelniach wyższych;
- infrastrukturę usług publicznych, zdrowotnych, obiektów handlowo-usługowych, religijnych, ośrodków kulturalnych i terenów rekreacyjnych.

Występowanie określonych potrzeb transportowych ściśle zależy od struktury podsystemu aktywności [3].

Zaprezentowana w opracowaniu problematyka odwzorowania procesu generowania podróży dotyczy przede wszystkim modelowania makroskopowego z wykorzystaniem czterostopniowego modelu transportowego. Istotnymi ograniczeniami występującymi w takich modelach są trudności w zbieraniu danych i związane z tym błędy [12] oraz ograniczona dokładność odwzorowania wynikająca z przyjęcia określonej próby w badaniach ankietowych [9], z których pozyskiwane są dane o liczbie generowanych podróży. Liczba zdefiniowanych warstw popytu na etapie generacji podróży wpływa istotnie na rozmiar modelu czterostopniowego, tj. na liczbę modeli cząstkowych w pozostałych etapach. Przykładowo, w modelu transportowym Bielska-Białej 27 warstw popytu wymagało opracowania 54 równań modelu generacji ruchu wewnętrznego, 81 macierzy O-D (dla doby oraz rannego i popołudniowego szczytu komunikacyjnego) i więzów ruchu (rozkład przestrzenny podróży), podzielonych następnie na 270 (dla rannego i popołudniowego szczytu komunikacyjnego) macierzy O-D dla poszczególnych sposobów realizacji podróży (podział modalny), które to macierze wymagają uruchomienia sekwencji obliczającej rozkłady potoków na sieć transportową dla systemów PrT oraz PuT.

Literatura

1. Badoo D.A., Chen Ch.-Ch., *Unit of analysis in conventional trip generation modelling: an investigation*. Can. J. Civ. Eng. 31: 272–280, 2004.
2. Ben-Akiva M., Lerman S.R., *Disaggregate travel and mobility-choice models and measures of accessibility*. [in] Behavioural Travel Modelling, D.A. Hensher and P. R. Stopher (eds.), Croom Helm, 1979.
3. Cascetta E., *Transportation Systems Analysis. Models and Applications*, 2nd Edition. Springer Optimization and Its Application, Vol.29. New York 2009.
4. Daly A.J., *Improved methods for trip generation*, presented to PTRC European Transport Forum, 1997.
5. Daly A.J., Miller S., *Advances in Modelling Traffic Generation*, Proceedings of the European Transport Conference, Strasbourg 2006.
6. Karoń G., *Modele popytu oparte na podróżach pojedynczych*, „Logistyka”, 2012, nr 8.
7. Karoń G., *Travel Demand and Transportation Supply Modeling for Agglomeration without Transportation Model*, in J. Mikulski (Ed.): *Activities of Transport Telematics*, CCIS 395, pp. 284-293, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.
8. Karoń G., Janecki R., Sobota A. i in., *Program inwestycyjny rozwoju trakcji szynowej na lata 2008÷ 2011. Analiza ruchu*, Praca naukowo-badawcza NB-67/RT5, Politechnika Śląska, Katowice 2009.

Dokończenie tekstu na stronie 28

Literatura

1. Brzeziński A., Rezwow M., *Tramwaj z Bemowa na Bielany, „Rynek Kolejowy”*, 2006, nr 9.
2. Chamier-Gliszczyński N., Krzyżyński T., *Zrównoważona mobilność w miastach, „Logistyka”*, 2011, nr 3.
3. Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M., *Inżynieria ruchu drogowego. Teoria i praktyka*, WKiŁ, Warszawa 2008.
4. Gondek S., *Czy tramwaj szybki skrócił czas podróży?*, „Logistyka”, 2010 nr 4.
5. Witryna internetowa Tramwajów Warszawskich Sp. z o.o., <https://tw.waw.pl/inwestycje/> (odsłona z dnia 09.05.2016 r.).
6. Kaczmarek M., *Zintegrowana koordynacja tramwajów i pojazdów indywidualnych w korytarzach transportowych*, VIII Konferencja Naukowo-Techniczna z cyklu: Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego, Nowoczesny Transport Publiczny w Obszarach Zurbanizowanych, SITK Poznań, materiały konferencyjne, Poznań 15–17.06.2011 r.
7. Krych A., *Efektywne przyspieszenie transportu tramwajowego w sterowaniu z priorytetem*, Polski Kongres ITS, ITS Polska, Warszawa 2009 (CD).
8. Krych A. i in., *Systemy priorytetu dla tramwajów w sygnalizacji w zastosowaniach krajowych*, VIII Konferencja Naukowo-Techniczna z cyklu: Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego, Nowoczesny Transport Publiczny w Obszarach Zurbanizowanych, SITK Poznań, materiały konferencyjne, Poznań 15–17.06.2011 r.
9. Krych A., *Szybki i szybszy tramwaj – ewaluacja idei i aplikacji na przykładzie Poznania*, Międzynarodowa Konferencja i Wystawa „Transport publiczny w Warszawie kluczem harmonijnego rozwoju stolicy Polski”, Biuro Komunikacji UM st. Warszawy, materiały konferencyjne, tom II, Warszawa 10–11.10.2005 r..
10. PTV Vissim 5.40 User Manual, PTV AG, Karlsruhe 2012.
11. PTV VisVap 2.16 User Manual, PTV AG, Karlsruhe 2012.
12. Rychlewski J., *Doświadczenia ze stosowania priorytetu tramwajowego w Poznaniu*, „Przegląd Komunikacyjny”, 2010, nr 4–6.
13. *Strategia Zrównoważonego Rozwoju Systemu Transportowego Warszawy do 2015 r. i na lata kolejne*, Uchwała Nr LVIII/1749/2009 Rady m.st. Warszawy.
14. Szmagliński J., *Analiza odcinków generujących straty czasu w transporcie tramwajowym*, „Przegląd Komunikacyjny”, 2015, nr 6.
15. Tracz M. i in., *Metoda obliczania przepustowości skrzyżowań z sygnalizacją świetlną*, opracowana na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad, Politechnika Krakowska, Kraków 2004.
16. Uchwała Nr XXVI/193/95 Rady Miasta Stołecznego Warszawy z dnia 27 listopada 1995 r. w sprawie polityki transportowej dla m.st. Warszawy.
17. Rozporządzenie ministra infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 r. w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach (Dz. U. z 2003 r. Nr 220, poz. 2181 z późn. zm.), Zał. nr 3.

Dokończenie tekstu ze strony 17

9. Karoń G., Krawiec S., Żochowska R., Sobota A., *Metodologia i szczegółowa koncepcja przeprowadzenia badań ruchu i sposobu opracowania modelu ruchu na obszarze działania Komunikacyjnego Związku Komunalnego GOP*, Praca naukowo-badawcza NB-179/RT5/2015, Politechnika Śląska, Katowice 2015.
10. Karoń G., Łazarz B., *Wybrane zagadnienia budowy modelu ruchu*, „Logistyka”, 2010, nr 4.
11. Larsen, O., *Estimating independent and simultaneous trip frequency models for all travel purposes with combined Logit/Poisson*, European Transport Conference, Strasbourg 2003.
12. Macioszek E., Żochowska R., Karoń G., *Problemy gromadzenia danych dla potrzeb modelowania podróży i prognozowania ruchu*, Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna „Modelowanie podróży i prognozowanie ruchu”, Kraków 18–19 listopada 2010. Zeszyty naukowo-techniczne SITK RP o/Kraków, Kraków, 2010, Zeszyt nr 94.
13. Marvin L. Manheim, *Fundamentals of Transportation Systems Analysis*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts 1979.
14. Mitchell R.B., Rapkin C., *Urban Traffic: A Function of Land Use*. Columbia University Press, New York 1954.
15. Ortuzar J., Willumsen L.G., *Modelling transport*, 3rd Edition. Wiley, New York 2009.
16. Sobota A., Janecki R., Karoń G., Żochowska R. i in., *Zintegrowany system zarządzania transportem na obszarze miasta Bielska-Białej, etap I – wykonanie Modelu Ruchu*. Praca NB 148/RT-5/13/14. Politechnika Śląska, Katowice – Bielsko-Biała 2015.
17. *Strategia Rozwoju Bielska-Białej do 2020 roku*, Bielsko-Biała 2012.
18. *Strategia rozwoju subregionu południowego województwa śląskiego wraz ze strategią regionalnych inwestycji terytorialnych na lata 2014–2020. Projekt*, Bielsko-Biała 2014.
19. Supernak J., *Modele powstawania miejskiego ruchu osobowego*, WKiŁ, Warszawa 1980.
20. *Wieloletni plan rozwoju zintegrowanego systemu transportowego miasta Katowice*, Urząd Miasta Katowice 2015, wersja z konsultacji społecznych, luty 2016.
21. Witryna internetowa GUS <http://stat.gov.pl/> odsłona 12.09.2014.
22. Witryna internetowa Wikipedia.pl.wikipedia.org/Wiki/Podgórze_Śląskie, odsłona 7.08.2014.

Dokończenie tekstu ze strony 23

Ponadto wskazane jest przeprowadzenie badań odmienną techniką pomiarową i/lub metodyką analizy danych. Pozwoli to na stosowną weryfikację otrzymanych wyników.

Literatura

1. Drake J.S., Schofer J.L., May A.D., *A Statistical Analysis of Speed Density Hypotheses*, Third International Symposium on the Theory of Traffic Flow Proceedings, Elsevier North Holland, Inc. New York 1967.
2. Edie L.C., *Car-Following and Steady-State Theory for Noncongested Traffic*, Operation Research, 1961.
3. Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M., *Inżynieria ruchu drogowego: teoria i praktyka*. WKiŁ, Warszawa 2011.
4. Greenberg H., *An analysis of traffic flow*, Operations Research, 1959.
5. Greenshields B.D., *A study of traffic capacity*, Ohio State Highway Department, 1935.
6. Hoogendoorn S., Knoop V.L., Taale H., *Traffic Flow Theory and Simulation*, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, 2012.
7. Krystek R., *Syntetyczny wskaźnik jakości ruchu ulicznego jako kryterium sterowania*, Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1980.
8. Matusz P., Paluszkiwicz T., Rudecki G., *Modelowanie wybranych zależności między parametrami ruchu na drodze ekspresowej i ulicach na przykładzie Trójmiasta*, praca magisterska, Politechnika Gdańska, 2015.
9. May A.D., *Traffic Flow Fundamentals*, Wydawnictwo Prentice Hall, New Jersey 1990.
10. Transportation Research Board: *75 Years of the Fundamental Diagram for Traffic Flow Theory*, Greenshields Symposium, Massachusetts 2008.
11. Underwood R.T.: *Speed, volume, and density relationships: Quality and theory of traffic flow*, Yale Bureau of Highway Traffic, 1961.
12. Van Aerde M., *Multivariate calibration of single regime speed-flow-density relationship*, Vehicle Navigation and Information Systems Conference, Seattle 1995.