

ANDRZEJ SZARATA

dr inż., Politechnika Krakowska,
Wydział Inżynierii Lądowej,
ul. Warszawska 24,
31-155 Kraków, tel. 12 628-25 33,
email: aszarata@pk.edu.pl

BUDOWA MODELU SYMULACYJNEGO WOJEWÓDZTWA MAŁOPOLSKIEGO – MODEL POPYTU^{1,2}

Streszczenie. Politechnika Krakowska jest liderem konsorcjum naukowo-badawczego, którego celem jest opracowanie planu transportu zbiorowego dla województwa małopolskiego. Jednym z elementów projektu jest budowa transportowego modelu symulacyjnego województwa małopolskiego, który będzie wykorzystany do weryfikowania przyjętych scenariuszy rozwoju systemu transportu publicznego w województwie. Niniejszy referat przedstawia wybrane aspekty procesu modelowania warstwy popytu zastosowane w procesie budowy modelu transportowego województwa. W referacie uzasadniono rolę modelu transportowego w dokumencie planu oraz przedstawiono poszczególne etapy modelowania podróży. Sam proces modelowania oparty jest na wynikach kompleksowych badań ruchu, przeprowadzonych w województwie małopolskim w roku 2012. Przeprowadzone badania kompleksowe były jednymi z pierwszych tego typu badań w kraju i odnosiły się do zarejestrowania pełnych dzienników podróży respondentów w dniu poprzedzającym wywiad. Łącznie przeprowadzono wywiady w 4400 gospodarstw domowych, rozmieszczonych proporcjonalnie do liczby mieszkańców w gminach. Uzyskane wyniki wywiadów stanowiły podstawę do modelowania zachowań transportowych mieszkańców. Przedstawiony proces modelowania jest zgodny z ujęciem czterostadiowym, przy czym skupiono się na trzech etapach modelowania: modelowaniu potencjałów ruchotwórczych jako funkcji regresji liniowej, gdzie zmiennymi objaśniającymi były: liczba mieszkańców w poszczególnych przedziałach wiekowych, liczba miejsc pracy i miejsc w szkołach; funkcji oporu przestrzeni modelu grawitacyjnie badanego w funkcji odległości podróży; podziale zadań przewozowych, gdzie zmienną objaśniającą był czas podróży konkurencyjnymi środkami transportu. W referacie przedstawiono wynikowe formuły matematyczne wraz z uzyskanymi parametrami i oceniono zgodność modelu z dostępną bazą danych.

Słowa kluczowe: model transportowy, modelowanie popytu, plan transportowy

Wprowadzenie

Plan zrównoważonego rozwoju transportu publicznego w województwie jest relatywnie nowym dokumentem w polskim systemie prawnym i jednocześnie próbą uporządkowania rynku przewozów w transporcie regionalnym. Podstawą prawną opracowania takiego dokumentu jest Ustawa o publicznym transporcie zbiorowym [1] oraz Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie szczegółowego zakresu planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego [2]. Te dwa dokumenty

stanowią podstawowe wytyczne odnośnie zawartości planu transportowego województwa. Grzelec, Wyszomirski [3] rozwinęli zapisy uregulowań prawnych i wyjaśnili, w jaki sposób należy interpretować zapisy ustawowe. Jednakże, pomimo rozwinięcia kwestii poruszonych w Ustawie [1] i Rozporządzeniu [2] wciąż pojawia się szereg wątpliwości dotyczących procesu kształtowania ostatecznej formy dokumentu planu. Pomocne są doświadczenia zagraniczne (np. Krawczyk, Cupryjak [4]), niemniej autorzy opracowań stoją przed licznymi dylematami związanymi z silnym wpływem uwarunkowań lokalnych.

W przypadku województwa małopolskiego prace nad planem zrównoważonego rozwoju transportu publicznego składają się z 7 zasadniczych części:

1. Inwentaryzacja i charakterystyka zasad polityki transportowej województwa wraz z określeniem standardów obsługi transportem publicznym.
2. Badania ankietowe mieszkańców województwa w formie Kompleksowych Badań Ruchu (KBR).
3. Opracowanie modelu symulacyjnego systemu transportowego województwa małopolskiego dla stanu istniejącego z wykorzystaniem wyników Kompleksowych Badań Ruchu.
4. Sporządzenie prognostycznych modeli ruchu z uwzględnieniem wtórnego podziału zadań przewozowych dla rozpatrywanych horyzontów czasowych.
5. Zdefiniowanie scenariuszy rozwoju systemu transportowego w województwie i opracowanie wariantów systemu transportowego z wyróżnieniem podsystemów: drogowego (transport indywidualny), autobusowego, kolejowego oraz wariantów układu głównych linii oraz modelu taryfy i ewentualnych dopłat.
6. Ocena efektywności ekonomicznej, finansowej i środowiskowej przyjętych scenariuszy z wykorzystaniem prognostycznych modeli ruchu.
7. Opracowanie projektu dokumentu planu transportowego stanowiącego podstawę uchwały sejmiku województwa.

W ramach niniejszego artykułu przedstawiona zostanie wyłącznie część etapu dotyczącego budowy modelu symulacyjnego województwa, ze szczególnym uwzględnieniem badań przeprowadzonych w gospodarstwach domowych ukierunkowanych na budowę modelu czterostadiowego (np. wg Hensher, Button [5]).

¹ © Transport Miejski i Regionalny, 2013.

² Artykuł opracowano na podstawie referatu wygłoszonego na IX konferencji naukowo-technicznej „Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia komunikacyjnego”, Poznań–Rosnówek, 19–21 VI 2013 r.

Ustawa o transporcie publicznym [1] określa, że analizami ruchowymi dla potrzeb planu transportowego nie powinno się obejmować m.in. przewozu osób w celach turystycznych (art. 2, pkt 4). Nieuwzględnienie tych kategorii ruchu może zafałszowywać obraz funkcjonowania transportu publicznego w Małopolsce. Województwo to ma charakter turystyczny, a co za tym idzie – znaczna część podróży jest i powinna być wykonywana transportem zbiorowym. Ponadto duże potoki ruchu obsługiwanego bardzo często transportem indywidualnym mogą w znacznym stopniu wpłynąć na pogorszenie funkcjonowania drogowego transportu publicznego, który korzysta z tej samej infrastruktury. Dlatego też, aby uwzględnić wszystkie aspekty realizowanych podróży (również ruch turystyczny), konstruując model ruchowy, w pierwszym etapie winien on obejmować wszystkie środki transportu. Dopiero w dalszych etapach należy wydzielić z niego transport publiczny, a następnie przewozy o charakterze użyteczności publicznej, których analiza stanowi zasadniczy przedmiot szczegółowych analiz planu transportowego.

Transportowy model symulacyjny województwa małopolskiego

Opis rzeczywistego systemu transportowego jest bardzo trudny z powodu wysokiego stopnia złożoności i występujących współzależności między jego poszczególnymi komponentami, przy uwzględnieniu roli czasu w prowadzonych analizach. Stąd potrzeba budowy modeli matematycznych, stanowiących w stopniu wystarczającym odwzorowanie analizowanego systemu transportowego. Modele transportowe stanowią zbiór formuł matematycznych opisujących oba komponenty funkcjonującego systemu transportowego (podaż i popyt), uwzględniając jednocześnie występujące między nimi współzależności w czasie. Modele podróży charakteryzują się relatywnie wysokim poziomem agregacji i znacząco upraszczają rzeczywistość z racji swojej istoty podejścia do problemu – bazują na podróży jako podstawowej jednostce. Proces podejmowania decyzji o podróży wynika głównie z charakteru zagospodarowania przestrzennego i parametrów sieci transportowej. Jednakże pomimo swoich niedoskonałości i licznych uproszczeń modele czterostadiowe wciąż stanowią podstawowy sposób modelowania podróży w polskich miastach. Jest to związane z dostępem do danych wejściowych i ugruntowanym sposobem pozyskiwania wymaganych informacji (np. badania ruchliwości prowadzone w ramach KBR).

Proces modelowania ruchu i podróży stanowi podstawowy element wspomagający proces tworzenia planów transportowych. Celem budowy modelu jest wyznaczenie efektywności funkcjonalnej wybranych inwestycji w transport publiczny oraz organizacji tego systemu w skali województwa małopolskiego (Dudek z zespołem [6]). Budowa modelu powinna być poprzedzona analizą marketingową, wykonaną przy użyciu badań ankietowych oraz pomiarów kordonowych i ekranowych zaprojektowanych w taki sposób, aby możliwym była kalibracja parametrów funkcji zastosowanych w ujęciu symulacyjnym. Regionalny model ruchu, znacznie różni się od modeli stosowanych w podró-

żach miejskich, z powodu istotnie innego charakteru użytkowników systemu transportowego w mieście i regionie. W pierwszym przypadku system buduje się pod kątem obsługi okresów szczytowych, związanych z podróżami do / z pracy i szkół, natomiast w systemie regionalnym podróże są znacznie bardziej spłaszczone w dobie, o wymieszanych motywacjach, które tylko w pewnych obszarach wiążą się z dojazdami do pracy i szkół, większość zaś podróży wiąże się z innymi motywacjami (biznes, turystyka, bytowe, społeczne itp.).

Model podaży

W przypadku modelu województwa małopolskiego, opracowano model składający się z układów drogowego i transportu zbiorowego. Model ten zawiera w szczególności:

- podział województwa na rejony komunikacyjne – przyjęto, że pojedynczy rejon będzie stanowiła gmina, przy czym w przypadku ważniejszych gmin (pod względem funkcjonalnym lub terytorialnym), dokonano podziału na mniejsze części (łącznie dla modelu symulacyjnego województwa małopolskiego uzyskano podział na 245 rejonów);
- odwzorowanie układu dróg krajowych, wojewódzkich oraz ważniejszych powiatowych, pełniących funkcje uzupełniającą w stosunku do układu podstawowego;
- model sieci transportu indywidualnego odnosi się do wartości godzinowych (przepustowość i prędkość w ruchu swobodnym);
- układ linii kolejowych wykorzystywanych w przewozach pasażerskich lub mających potencjalne zdolności przewozowe;
- odwzorowanie układu transportu publicznego, uwzględniające przebiegi wszystkich linii kolejowych, a także autobusowych oraz mikrobusowych o zasięgu powyżej 1 powiatu wraz z częstotliwościami kursowania i średnimi czasami przejazdu;
- powiązania zewnętrzne województwa uwzględniono jako zagregowane strefy podłączone do układu drogowego na granicy województwa.

Model popytu

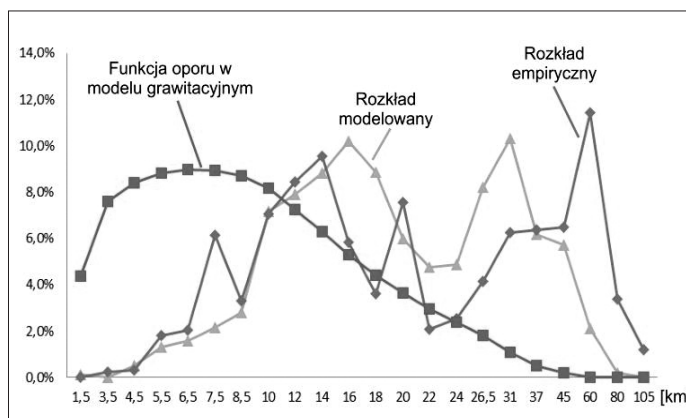
Kompleksowe Badania Ruchu są szeroko pojętą reprezentacyjną inwentaryzacją ruchu osób i pojazdów, tworzącą obraz ruchu w badanym obszarze dla celów lepszego zarządzania systemem transportowym oraz planowania jego rozwoju. Obszar ten w wyniku badań jest prezentowany w postaci wielu charakterystyk, wśród których za najważniejsze należy uznać informacje o generacji i absorpcji podróży oraz o ich rozkładzie przestrzennym i czasowym. Ponadto, wyniki KBR pozwalają na wyznaczenie przyczyn (motywacji) podróży, ruchliwości mieszkańców, długości i czasie przemieszczeń, podziału zadań przewozowych oraz w efekcie natężenia ruchu na sieci transportowej. Przedmiotem KBR jest ruch osób i pojazdów na badanym obszarze w typowym dniu roboczym. Pod pojęciem ruch rozumie się wszelkie przemieszczanie osób dokonywane

pieszo i mechanicznymi środkami lokomocji oraz wszystkie przemieszczenia pojazdów. Ciągi przemieszczeń związanych z osiągnięciem określonego celu nazywane są podróżami (osób) lub jazdami (pojazdów). Ruch jest efektem i obrazem realizacji podróży w sieci transportowej.

Przykładem ciągu przemieszczeń tworzącym podróż, odbywaną transportem zbiorowym między źródłem (np. dom) oraz celem (np. praca), jest sekwencja: dojście z domu do przystanku podmiejskiego (pierwsze przemieszczenie), przejazd autobusem (drugie przemieszczenie), przesiadka z dojściem na przystanek tramwajowy (trzecie przemieszczenie), przejazd tramwajem (czwarte przemieszczenie), dojście z przystanku do miejsca pracy (piąte przemieszczenie). Ta przykładowa podróż angażuje do jej realizacji trzy rodzaje środków lokomocji (pieszy, autobus podmiejski, tramwaj). Inny przykład ciągów przemieszczeń tworzącym podróż odbywaną samochodem z miejsca pracy (źródło) do usług (cel): dojście do parkingu (pierwsze przemieszczenie), przejazd samochodem z zaparkowaniem pojazdu (drugie przemieszczenie), dojście pieszo od parkingu do domu handlowego (trzecie przemieszczenie). Przejście pieszo np. ze szkoły do domu jest przykładem podróży składającej się tylko z jednego przemieszczenia.

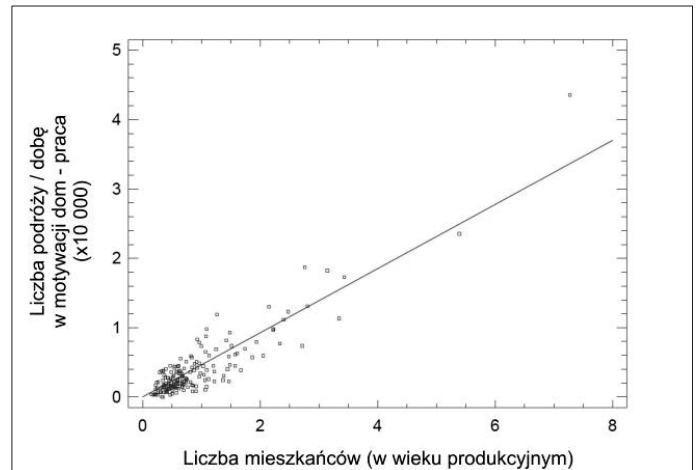
Analizowane w obszarze badania zbiory podróży, osób, pojazdów i gospodarstw domowych charakteryzują się dużą liczebnością, nie jest możliwe zbadanie wszystkich elementów tych zbiorów. Dlatego podstawą badania są tzw. próby reprezentatywne pozwalające uogólniać określone charakterystyki na całe populacje. W województwie małopolskim przeprowadzono badania w 4400 gospodarstwach domowych.

Na podstawie tych badań ankietowych, opracowano model popytu, pozwalający na wyznaczenie macierzy podróży między poszczególnymi rejonami (gminami) w ujęciu dobowym. W procesie przeprowadzenia badań KBR zaproponowano podział na 7 motywacji podróży: dom – praca (D-P), dom – nauka (D-N), dom – inne cele (D-I), praca – dom (P-D), nauka – dom (N-D), inne cele – dom (I-D), niezwiązane z domem (NZD). Ponieważ opracowany model odnosił się do podróży dobowych, wyznaczono udziały poszczególnych motywacji w ruchu dobowym (rys. 1).



Rys. 1. Rozkład motywacji podróży w ciągu doby

W oparciu o wyniki badań ankietowych KBR wyznaczono liczbę podróży generowanych i absorbowanych przez rejon komunikacyjny (gminę) w ciągu doby. Analizie poddano podróże realizowane przez osoby powyżej 16 roku życia. Jako zmienne objaśniające przyjęto liczbę mieszkańców (z uwzględnieniem grup wiekowych), liczbę miejsc pracy oraz liczbę uczniów i liczbę miejsc w szkołach (podstawowych, gimnazjach, liceach i szkołach zawodowych).



Rys. 2. Zależność między liczbą mieszkańców w wieku produkcyjnym a liczbą podróży / dobę w motywacji dom-praca

Formuły określające związek pomiędzy liczbą podróży generowanych lub absorbowanych przez rejon komunikacyjny a przyjętymi zmiennymi objaśniającymi opracowano przy wykorzystaniu analizy regresji (Greń [7]), wyznaczając jednocześnie współczynnik determinacji, opisujący siłę uzyskanego związku. Do analiz wykorzystano program Statgraphics Centurion XV [8], w którym przeprowadzono analizy regresji, poszukując odpowiedniego kształtu funkcji aproksymującej zbiór punktów. Na rysunku 2 przedstawiono wybraną zależność między liczbą podróży w motywacji dom-praca a liczbą mieszkańców w wieku produkcyjnym.

Podobne zależności uzyskano dla pozostałych motywacji, a ostateczne formuły matematyczne opisujące wyznaczone zależności przedstawiono w tabeli 1.

Drugi etap analiz to wyznaczenie funkcji oporu przestrzeni dla modelu grawitacyjnego. Ponieważ model symulacyjny został zbudowany w oparciu o wbudowany moduł czterostadiowy w programie Visum [9], jako funkcję oporu $f(x_{i,j})$ przyjęto model złożony (wg [9]), opisany równaniem (1):

$$f(x_{i,j}) = \alpha x_{i,j}^{\beta} e^{\gamma x_{i,j}} \quad (1)$$

gdzie:

α, β, γ – parametry funkcji oporu, wyznaczone dla każdej z grup motywacyjnych,

$x_{i,j}$ – odległość między rejonami komunikacyjnymi [km].

Po opracowaniu więźb ruchu dla każdej z grup motywacyjnych dokonano ich złożenia i weryfikacji pod względem zgodności rozkładu długości podróży z wynikami badań

w gospodarstwach domowych. W tym celu dokonano agregacji przyjętych funkcji oporu i wyznaczono jedną wspólną (o parametrach $\alpha = 0,6$; $\beta=0,4$; $\gamma=-0,03$), a następnie porównano rozkłady empirycznych długości podróży (wg KBR), z długościami modelowanymi, wyznaczonymi z opracowanej więźby ruchu. Osiągnięto wysoką zgodność – $R^2=0,82$. Na rysunku 3 przedstawiono kształt funkcji oporu oraz rozkładu długości podróży: empiryczne i modelowane.

Trzeci etap analiz to wyznaczenie modelu podziału zadań przewozowych. Modelowanie podziału zadań przewozowych jest trudnym etapem prac nad modelem, ponieważ na decyzję o wyborze środka transportu wpływa

bardzo wiele czynników. Liczba czynników wpływu oraz ich współzależności znacznie utrudniają proces modelowania. Opracowano funkcję pozwalającą określić prawdopodobieństwo wyboru środka transportu, a jako czynnik wpływu w modelu podziału zadań przyjęto element kosztu uogólnionego estymowany czasem podróży konkurencyjnymi środkami transportu. Udział transportu indywidualnego w podróżach (U_{ki}) jest opisany równaniem (2):

$$U_{ki} = \frac{e^{-0,03 \cdot \beta \cdot t_{PrT}}}{e^{-0,03 \cdot \beta \cdot t_{PrT}} + e^{-0,03 \cdot t_{PuT}}} \quad (2)$$

gdzie:

- β_{PrT} – parametr modelu zależny od motywacji podróży:
 - $\beta_{PrT}=2,4$ (motywacje związane z nauką),
 - $\beta_{PrT}=2,2$ (motywacje związane z pracą),
 - $\beta_{PrT}=1,8$ (motywacje nie związane z domem),
 - $\beta_{PrT}=2,6$ (pozostałe motywacje)
- t_{PrT} , t_{PuT} – czasy podróży konkurencyjnymi środkami transportu, wyznaczone z modelu symulacyjnego.

Tabela 1

Opracowane formuły matematyczne dla przyjętych motywacji w modelu symulacyjnym obszaru Małopolski – potencjały atrakcji		
Motywacja	Formuła	R2
D-I	$0,479265 \cdot I_{mieszk18do65}$	0,746
D-N	$3,17084 \cdot G_{uczniow} + 2,14511 \cdot L_{uczniow} - 1,21967 \cdot P_{uczniow} - 1,17944 \cdot Z_{uczniow}$	0,870
D-P	$1,39945 \cdot M_{pracy_ogolem}$	0,933
I-D	$0,311257 \cdot I_{mieszkogolem}$	0,829
N-D	$0,310711 \cdot I_{mieszkponizej18}$	0,701
NZD	$0,216628 \cdot M_{pracy_ogolem}$	0,706
P-D	$0,259883 \cdot I_{mieszkogolem}$	0,877
Dla Produkcji		
D-I	$0,272035 \cdot I_{mieszkogolem}$	0,806
D-N	$0,0677857 \cdot I_{mieszkogolem}$	0,761
D-P	$0,462326 \cdot I_{mieszk18do65}$	0,894
I-D	$1,38319 \cdot M_{pracy_ogolem}$	0,833
N-D	$24,4021 \cdot P_{liczba} + 11,9609 \cdot Z_{liczba} + 682,178 \cdot L_{liczba} + 36,2659 \cdot G_{liczba}$	0,776
NZD	$0,227067 \cdot M_{pracy_ogolem}$	0,723
P-D	$1,24478 \cdot M_{pracy_ogolem}$	0,927

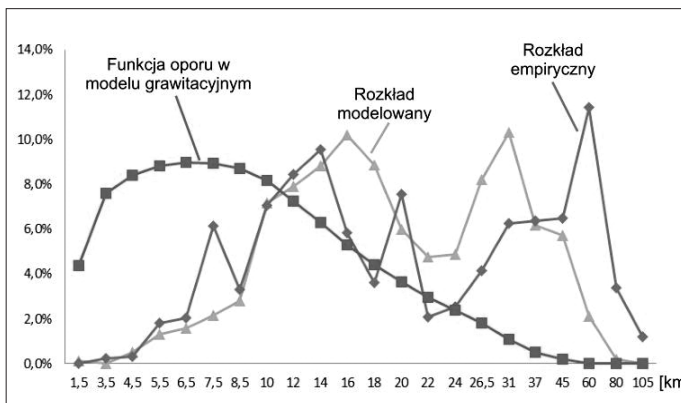
gdzie:
 $I_{mieszk18do65}$ – liczba mieszkańców pomiędzy 18 a 65 lat
 $I_{mieszkogolem}$ – całkowita liczba mieszkańców
 M_{pracy_ogolem} – liczba miejsc pracy
 $I_{mieszkponizej18}$ – liczba mieszkańców poniżej 18-go roku życia
 $G_{uczniow}$ – liczba uczniów gimnazjum
 $L_{uczniow}$ – liczba uczniów szkół licealnych
 $P_{uczniow}$ – liczba uczniów szkół podstawowych
 $Z_{uczniow}$ – liczba uczniów szkół zawodowych
 P_{liczba} – liczba szkół podstawowych
 Z_{liczba} – liczba szkół zawodowych
 L_{liczba} – liczba szkół licealnych
 G_{liczba} – liczba szkół gimnazjalnych

Ostatni etap to procedura rozkładu podróży na sieć drogową. Wykorzystano tutaj standardowe procedury zawarte w programie Visum (dla transportu zbiorowego: *Timetable Based*, dla transportu indywidualnego: *Dynamic User Equilibrium*).

Weryfikacja modelu

Przedstawiony model popytu został wykorzystany do budowy modelu transportowego województwa i jego jakość poddano weryfikacji poprzez porównanie uzyskanych wyników rozkładu ruchu z dostępną bazą danych pomiarowych. Łącznie dysponowano 64 punktami rozlokowanymi na granicach powiatów, zawierającymi wyniki pomiarów przekrojowych potoków pasażerskich. Osiągnięto zgodność na poziomie $R^2=0,89$. Ponadto sprawdzono łączną sumę pasażerów we wszystkich punktach pomiarowych, która wynosiła 30 692 pas./h, podczas gdy suma z modelu to 29 625 pas./h.

W przypadku transportu indywidualnego, dysponowano większą liczbą punktów pomiarowych – łącznie 213 (lokalizacja punktów była zgodna w punktami pomiarowymi według GPR 2010 oraz własnymi punktami na ważniejszych drogach powiatowych i gminnych). Ponadto należy zaznaczyć, że dysponowano szczegółowymi wynikami GPR 2010, w rozbiciu na poszczególne godziny oraz strukturę rodzajową potoku pojazdów. Osiągnięta zgodność wyrażona współczynnikiem determinacji wynosi $R^2=0,90$. Suma pojazdów na punktach pomiarowych wynosi 53 872 poj./h, natomiast łączny, modelowany potok pojazdów wynosi 54 614 poj./h. Dodatkowo dokonano sprawdzenia wyników zgodności modelu z bazą pomiarową poprzez zastosowanie wskaźnika GEH [10], [11].



Rys. 3. Rozkłady długości podróży wewnętrznych w województwie małopolskim (empiryczne i modelowane) wraz z kształtem funkcji oporu w modelu grawitacyjnym

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M - C)^2}{M + C}} \quad (3)$$

gdzie:

- M – natężenie ruchu na odcinku, wg modelu [poj/h],
 C – natężenie ruchu na odcinku, wg pomiarów [poj/h].

Zaleca się, aby wartość GEH była mniejsza niż 5,0 dla 85% przypadków. W opracowanym modelu transportowym osiągnięto wartość poniżej 5,0 dla 82% przypadków. W pozostałych przypadkach istnieje ryzyko występowania błędów na poziomie podaży i/lub popytu, lecz nie stanowi to istotnego osłabienia całego modelu. Pomimo że osiągnięty wynik jest nieco słabszy, niż zalecany udział punktów $GEH < 5,0$, uwzględniając rozbudowaną bazę danych pomiarowych, uznano ten wynik za zadowalający.

Podsumowanie i wnioski

W przedstawionym podejściu do opracowania modelu symulacyjnego systemu transportowego województwa wykorzystano jest model czterostadiowy, odwzorowujący następujące etapy podróży: generację podróży, rozkład przestrzenny podróży, podział zadań przewozowych oraz rozkład ruchu w sieci transportowej. Budowa modelu symulacyjnego wymaga dostępu do bardzo rozbudowanej bazy danych wejściowych składającej się z trzech zasadniczych elementów:

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

Zmienne strukturalne są pozyskiwane na zasadzie współpracy wielu jednostek odpowiedzialnych np. za ewidencję ludności, ewidencję pojazdów, edukację itp. O ile globalne wielkości poszczególnych zmiennych są relatywnie łatwo dostępne, o tyle już dystrybucja tych wartości do poziomu rejonów komunikacyjnych (w tym przypadku gmin) stanowi duże wyzwanie. Znaczna część danych jest przechowywana w bazach pracujących w środowisku GIS, co pozwala na szybkie i precyzyjne przypisanie wielkości rejonom komunikacyjnym. Ten etap zbierania danych ma istotny wpływ na wyniki końcowe modelu symulacyjnego, a błędne oszacowanie i niewłaściwa dystrybucja zmiennych może zniweczyć najbardziej wyrafinowany model podróży.

Model symulacyjny województwa małopolskiego charakteryzuje się następującymi cechami:

- wykorzystano wyniki wywiadów w gospodarstwach domowych, prowadzone w ramach Kompleksowych Badań Ruchu. Badania były prowadzone w 4 400 gospodarstwach domowych rejestrując łącznie ponad 28 000 podróży;
- otrzymana baza danych wydaje się wystarczająca do budowy wiarygodnego modelu transportowego;
- przedstawiony model popytu został poddany weryfikacji poprzez powiązanie otrzymanych macierzy podróży z modelem podaży. Osiągnięto wysokie wartości zgodności pełnego modelu z dostępną bazą pomiarową (pomiary potoków pasażerskich oraz natężenia ruchu drogowego);
- opracowano model pozwalający na analizy poszczególnych godzin w ciągu doby, wykorzystując szczegółowe informacje o dobowym rozkładzie liczby podróży w poszczególnych motywacjach;
- przyjęte uproszczenia w procedurze modelowania nie wpłynęły w sposób istotny na jakość końcową modelu transportowego, co pozwala na jego aplikację poprzez modelowanie i ocenę proponowanych scenariuszy rozwoju systemu transportowego województwa.

Literatura

1. Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 r, o publicznym transporcie zbiorowym (Dz.U. 2011 nr 5, poz. 13).
2. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 maja 2011 r, w sprawie szczegółowego zakresu planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego (Dz.U. 2011 nr 117, poz. 684).
3. Grzelec K., Wyszomirski O., *Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla gmin i związków międzygminnych*, Izba Gospodarcza Komunikacji Miejskiej, Warszawa 2011.
4. Krawczyk G., Cupryjak P., *Plany transportowe w Niemczech – ocena funkcjonowania systemu publicznego transportu zbiorowego*, „Technika Transportu Szynowego”, 2011, nr 11.
5. Hensher D., Button K., *Handbook of Transport Modelling*, Pergamon, Elsevier Ltd, Oxford 2005.
6. Dudek M., z zespołem, *Opis przedmiotu zamówienia do specyfikacji istotnych warunków zamówienia dla planu zrównoważonego rozwoju transportu zbiorowego w województwie małopolskim*, Materiały niepublikowane, Kraków, listopad 2011.
7. Greń J., *Statystyka matematyczna: podręcznik programowy*. Warszawa 1987.
8. *Statgraphics Plus Manual*, ver. 5.1. International Professional Statistical Graphical Corporation, 2001.
9. Visum 12.5 basics. Manual, PTV AG, Karlsruhe 2012.
10. <http://www.dft.gov.uk/ha/standards/> (stan z dnia 28 maja 2013).
11. http://www.wisdot.info/microsimulation/index.php?title=Main_Page (stan z dnia 28 maja 2013).