

Tomasz Kulpa, Rafał Kucharski, Andrzej Szarata

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, Zakład Systemów Komunikacyjnych

BUDOWA REGIONALNYCH MODELI TRANSPORTOWYCH – ZAŁOŻENIA I DYLEMATY

Rękopis dostarczono: kwiecień 2016

Streszczenie: W artykule przedstawione zostały doświadczenia Autorów dotyczące budowy regionalnych modeli podróży. W szczególności opisano poszczególne etapy tworzenia modelu popytu przedstawiając możliwe podejścia oraz formułując dylematy. Podjęto również polemikę dotyczącą budowy modelu podaży, czyli odwzorowania sieci transportowej w skali regionu. Artykuł stanowi przyczynek w dyskusji na temat tworzenia regionalnych modeli podróży, która jest prowadzona w ramach projektu badawczego.

Słowa kluczowe: modelowanie podróży, model popytu, regionalny model ruchu

1. CHARAKTERYSTYKA MODELI REGIONALNYCH

Opis rzeczywistego systemu transportowego jest bardzo trudny z powodu wysokiego stopnia złożoności i występujących współzależności pomiędzy jego poszczególnymi komponentami. Stąd pojawia się potrzeba budowy modeli matematycznych, stanowiących w wystarczającym stopniu odwzorowanie analizowanego systemu transportowego. Modele podróży stanowią zbiór formuł matematycznych opisujących oba komponenty funkcjonującego systemu transportowego (podaż i popyt), uwzględniając jednocześnie występujące między nimi współzależności w czasie [3].

W wielu krajach tworzy się modele podróży w podziale na trzy poziomy zasięgu przestrzennego: model krajowy, modele regionalne i modele miejskie (aglomeracyjne). Podobne podejście stosuje się w Polsce. Istniejący model krajowy niezbędny jest do planowania strategicznych inwestycji takich jak autostrady i drogi ekspresowe. Na drugim końcu znajdują się modele miejskie, bardzo szczegółowe, służące ocenie systemów transportowych w skali lokalnej. To podejście jest zbyt dokładne, aby mogło być zastosowane na poziomie regionalnym. Stąd pojawia się potrzeba budowy regionalnych modeli podróży, które będąc elementem stycznym do modeli miejskich i modelu krajowego wypełnią lukę pomiędzy nimi.

Regionalny model podróży obejmuje zarówno przemieszczenia osób jak i ładunków. Potrzeba tworzenia regionalnych modeli podróży wynika z jednej strony z zapisów ustawy o publicznym transporcie zbiorowym, z drugiej z konieczności oceny efektywności ekonomicznej inwestycji o charakterze regionalnym. W szczególności regionalny model

podróży może być wykorzystany m.in. do: oceny celowości budowy dróg regionalnych, uzasadnienia budowy nowych przepraw mostowych oraz jako źródło danych wejściowych do analiz środowiskowych i bezpieczeństwa ruchu drogowego. W szczególności modele regionalne są wykorzystywane w tworzeniu planów transportu zbiorowego na poziomie województwa.

Podczas gdy modelu krajowym identyfikowane są podróże międzypowiatowe, a w modelach miejskich wewnątrzmięskie, w modelu regionalnym niezbędna jest identyfikacja międzygminnych przemieszczeń, co wynika z podstawowego podziału na rejony komunikacyjne odpowiadające obszarem gminie. Zasięg modeli regionalnych zależy w dużej mierze od wielkości kraju. W przypadku Polski obszarem tym jest zwykle województwo lub część województwa (podregion). Podobnie wygląda sytuacja w innych krajach europejskich. W USA model regionalny obejmuje najczęściej jeden stan i co do powierzchni może odpowiadać nawet połowie powierzchni Polski.

W klasycznym ujęciu, 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 [2]. Niemniej podejmowane są próby budowy modeli hybrydowych, łączących zalety tradycyjnych modeli czterostadiowych i modeli lokalnych [10]. W takim przypadku konstruuje się model bez dostępnych wyników badań ankietowych, bazując jedynie na precyzyjnie dobranych zmiennych objaśniających. Proces budowy modelu popytu poprzedza przyjęcie szeregu założeń upraszczających, dotyczących modelu sieciowego (np. podział na mniejsze fragmenty i związane z tym obliczenia popytu dotyczące małego fragmentu sieci).

Regionalny model ruchu, znacznie różni się od modeli stosowanych w podrózach 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 pracy i miejsc nauki, 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, natomiast większość podróży wiąże się z innymi motywacjami (np. biznes, turystyka, bytowe, społeczne, itp.).

2. DOŚWIADCZENIA I DYLEMATY ZWIĄZANE Z MODELAMI REGIONALNYMI W POLSCE

2.1. PODZIAŁ NA REJONY KOMUNIKACYJNE

Pierwszym krokiem w ustaleniu podziału na rejony komunikacyjne jest identyfikacja granic gmin. Następnie podział ten jest uszczegółowiany z uwzględnieniem takich barier komunikacyjnych jak: linie kolejowe, drogi wysokich klas, ciek i zbiorniki wodne, szwy w zagospodarowaniu przestrzennym. Przy opracowaniu modelu dla obszaru Mazowsza [11] zauważono, że w wielu przypadkach, zwłaszcza przy przechodzeniu linii kolejowych przez

obszary silnie zurbanizowane, nie stanowi ona istotnej bariery komunikacyjnej ze względu na dużą liczbę przejazdów kolejowych, często różnopoziomowych. Ponadto w wielu gminach linia kolejowa oddzielała obszary leśne lub pojedyncze wsie o stosunkowo niewielkiej liczbie gospodarstw domowych. Wydzielenie tych obszarów nie zmieniłoby znacząco obrazu ruchu w gminie, a co dopiero w skali całego województwa. Stąd też bardziej szczegółowy podział na rejon komunikacyjny niż na gminy nie zawsze jest konieczny. W przypadku dużych miast (np. miasta na prawach powiatu) przyjmuje się podział na dzielnice, osiedla lub inne podobne jednostki funkcjonalne. Wprowadzenie bardziej szczegółowego podziału dużych miast na rejon komunikacyjny wymagałoby uwzględnienia przemieszczeń wewnątrzmijskich, które nie są istotne z punktu widzenia modelu regionalnego.

Problem związany z podziałem na rejon komunikacyjny jest zasadniczy z punktu widzenia budowy bazy danych zmiennych objaśniających do modelu popytu. Powszechnie dostępne bazy [1] odnoszą się do gmin, jako podstawowej jednostki przestrzennej i podział na mniejsze części powoduje, że należy przyjmować arbitralnie np. liczbę ludności w odniesieniu do mniejszych jednostek. Jednocześnie pojawia się dylemat, czy bardziej szczegółowy podział wpłynie na poprawę jakości całego modelu, czy może przyczyni się do jego osłabienia wskutek braku wiarogodnych danych dla nowego podziału? Pomimo, że ten aspekt jest coraz mniej istotny z uwagi na coraz bardziej rozbudowane bazy danych GIS [6], należy go brać pod uwagę.

Dodatkowym aspektem jest wydzielenie jako rejon komunikacyjny generatorów ruchu (duże centra logistyczne, zakłady produkcyjne, duże centra handlowe, lotniska). W wielu przypadkach taki generator jest podłączony do sieci w tym samym miejscu co rejon w którym się znajduje. Stąd też w skali regionu wystarczająco dokładne będzie uwzględnienie dodatkowego potencjału generatora w potencjale rejonu komunikacyjnego niż wydzielenie go, jako osobnego obiektu. Dyskusyjnym będzie też przyjęcie granicznej wielkości generatora, powyżej której powinien być uwzględniany, jako osobny rejon komunikacyjny.

2.2. MODEL SIECI TRANSPORTOWEJ

Szczegółowość modelu sieciowego powinna być związana ze szczegółowością podziału na rejon komunikacyjny, tj. im gęstszy podział na rejon komunikacyjny, tym bardziej dokładna sieć. Zazwyczaj w modelu uwzględnia się wszystkie drogi krajowe i wojewódzkie. Czasami również drogi powiatowe, szczególnie gdy pełnią one ważną funkcję. Przy drogach niższych kategorii występuje problem niejednolitego traktowania ich przez samorządy. W niektórych powiatach sieć dróg powiatowych to podstawowy szkielet komunikacyjny, w innych, niekiedy sąsiednich niemal wszystkie odcinki drogowe. Powoduje to nieciągłość w reprezentacji sieci w modelu na granicach powiatów. Przy drogach o klasie niższej niż wojewódzka konieczna jest więc parametryzacja w oparciu o klasę funkcjonalno-techniczną a nie funkcjonalną, co jest znacznie trudniejsze. Parametryzacja sieci drogowej może być wtedy oparta o m.in.: rodzaj nawierzchni, klasę funkcjonalno-techniczną, prędkość dopuszczalną [8].

Przy budowie modelu sieciowego pojawia się dylemat: czy uproszczoną sieć dróg kodować ręcznie czy korzystać z dostępnych danych np. Bazy Danych Obiektów Ogólnogeograficznych (BDOO) lub Bazy Danych Obiektów Topograficznych (BDOT10k) udostępnianych przez Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (CODGiK) [7] względnie ogólnodostępnych baz danych o sieci transportowej (np. OpenStreetMap)? Z jednej strony małym nakładem pracy można zakodować uproszczony szkielet drogowy modelu regionalnego, z drugiej jednak zazwyczaj mamy dostęp do pełnej siatki drogowej z Systemu Informacji Przestrzennej (SIP). W SIP zazwyczaj informacja o sieci jest niepotrzebnie bogata i przez to zbyt szczegółowa, z drugiej strony bazy te zazwyczaj są dokładne i wstępnie sparametryzowane. Tutaj na podstawie doświadczeń należy podjąć decyzję optymalną do realizacji budowanego modelu. Istotne w parametryzacji sieci drogowej jest określenie odcinków w terenie zabudowanym i poza nim. Posłużyć do tego może warstwa Państwowego Rejestru Granic i odczytanie odcinków w obrębie miast i gmin miejskich. Istotnie zwiększy to dokładność sieci regionalnej, w której przejazdy przez tereny zabudowane są kluczowe dla oceny atrakcyjności połączenia i szacowania przejazdu.

Istotnym problemem w modelach regionalnych jest przepustowość sieci drogowej. Otóż przemieszczenia regionalne wykonywane są po sieci obciążonej, z której korzystają wszyscy użytkownicy, również Ci nieuwzględnieni w modelu (podróże wewnętrznejonowe nierozkładane na sieć w modelu). Z obciążenia sieci wszystkimi podróżami wynikają czasy przejazdu. Nie można uzyskać wiarygodnych czasów przejazdu i oporu w sieci jeśli modelowana jest tylko część przemieszczeń (podróże międzyrejonowe). Uproszczenia w modelu sieci drogowej powodują trudność w odwzorowaniu miejsc, w których z powodu braku przepustowości powstają wielokilometrowe zatory i znaczne utrudnienia. Nie można w pełni uwzględnić ich przyczyn w regionalnym modelu sieci drogowej (plan sygnalizacji, geometria skrzyżowania, nachylenie, słaba widoczność) jednak te zaburzenia w zasadniczy sposób wpływają na czasy przejazdu w sieci i wybór trasy.

Tu pojawia się kolejny dylemat. Czy sieć regionalna jest w stanie równowagi wg. Wardopa i, co za tym idzie, czy sieć po rozkładzie jest w stanie równowagi? Otóż obserwacja wymienionych wyżej wąskich gardeł świadczyłaby, że sieć w skali regionalnej nie równoważy się. Wobec tego pojawia się problem jaki algorytm rozkładu ruchu należy stosować i jak obliczać najkrótsze ścieżki. Stosownym wydaje się uwzględnienie kilku segmentów popytu: podróży sporadycznych – kierujących się kryterium czasu po nieobciążonej sieci, oraz regularnych – reagujących na zwiększenie czasu przejazdu na ścieżkach najkrótszych. Pierwszą grupę może reprezentować rozkład stochastyczny z jedną iteracją, natomiast drugą – klasyczny algorytm Wardopa.

Jednak nawet wówczas nie można realistycznie odwzorować zjawisk mających miejsce w sieci transportowej, ponieważ nie uwzględnia się wszystkich podróży a jedynie międzyrejonowe. Skłania to do użycia w budowie modeli regionalnych prędkości swobodnej i w godzinie szczytu określonych w oparciu o dane z sondowania pojazdów. Pierwsza z nich może być użyta w algorytmie wyboru ścieżki, druga natomiast do określania warunków ruchu i pracy przewozowej. Wówczas w modelu sieciowym nie określałoby się przepustowości i nie obliczało czasów przejazdu skoro i tak są one nierealistyczne.

Najbardziej pracochłonnym elementem modelu regionalnego jest zakodowanie sieci komunikacji zbiorowej wraz z przebiegiem linii, lokalizacją przystanków oraz rozkładami jazdy w podziale na transport drogowy i kolejowy. Nieregularność rozkładu jazdy połączeń

kolejowych wymusza zakodowanie go w sposób dokładny. Każda podjęta próba uproszczenia np. do taktów czy stałych przejazdów była nieudana wskutek zbyt dużego i nieregularnego interwału międzypojazdowego [8, 11]. Natomiast znacznie trudniejsze jest odwzorowanie sieci połączeń przewoźników autobusowych. Zazwyczaj wykorzystuje się informacje o wydanych przez Marszałka Województwa pozwoleniach na wykonywanie przewozów. Najczęściej są one dostępne do wglądu w formie papierowej, trudnej do przetworzenia. Rzadziej są dostępne w formie elektronicznej lub w formie warstwy SIP. Nie zawierają one jednak pozwoleń wydawanych przez innych organizatorów publicznego transportu zbiorowego (gminy, związki gmin, powiaty). W pozwoleniach są informacje jedynie o deklarowanym przez przewoźnika czasie przejazdu, które często są zaniżone (w Małopolsce średnia prędkość handlowa deklarowana przez przewoźników to ponad 50 km/h, co wydaje się nierealne dla mikrobusów wjeżdżających do Krakowa w godzinach szczytu). Konieczne jest więc obniżenie deklarowanych prędkości np. na podstawie pomiarów czasów przejazdu. Innym dylematem jest odwzorowanie przystanków. Zazwyczaj, niezależnie od faktycznej lokalizacji, przyjmowany jest jeden przystanek autobusowy w rejonie komunikacyjnym oraz jedna stacja kolejowa (jeśli kolej przecina dany rejon), które są podłączone do centroidy rejonu konektorem o czasie dojścia uzyskanym z ankiet w danym rejonie.

2.3. MODEL POPYTU

2.3.1. Motywacje podróży

W badaniach ankietowych przeprowadzonych w skali regionalnej rozważane są typowe motywacje podróży. W ogólności powinny one być zagregowane, co najmniej do dziewięciu motywacji: dom – praca, praca – dom, dom – szkoła, szkoła – dom, dom-uczelnia, uczelnia – dom, dom – inne, inne – dom, niezwiązane z domem. W niektórych badaniach (np. [11]) motywacje dom-inne i inne-dom zostały rozbite na bardziej szczegółowe, m.in. uwzględniające podróże w celu zakupów lub rozrywki w wielkopowierzchniowych centrach handlowych (WOH) oraz poza nimi. Niemniej z uwagi na zasięg przestrzenny modeli regionalnych podział na wymienionych wyżej dziewięć motywacji jest wystarczający.

2.3.2. Godzina szczytu

Ważny dylemat dotyczący budowy modeli regionalnych dotyczy przyjętej godziny szczytu (porannego lub popołudniowego). W modelach miejskich, obejmujących swym zakresem obszar miasta i otaczających gmin, odległości podróży nie są znaczące i można przyjąć, że zdecydowana większość podróży zostanie zrealizowana w ciągu godziny szczytu. W przypadku modeli regionalnych o zasięgu kilkudziesięciu lub więcej kilometrów, wiele osób dojeżdżających do pracy w centralnym ośrodku miejskim rozpoczyna swoją podróż znacznie wcześniej. W efekcie mamy do czynienia z sytuacją, w której umowna godzina szczytu (rozumiana jako godzina określająca największą liczbę podróży rozpoczynanych) występuje o innej porze w okolicy ośrodka miejskiego, a inna na granicy regionu.

Uśrednienie wartości nie jest rozwiązaniem, ponieważ wyraźnie zafałszuje obraz utrudnień komunikacyjnych. Wyjściem z sytuacji jest przyjęcie godziny szczytu odpowiadającej podróżom realizowanym wokół najważniejszego ośrodka miejskiego, ze świadomością, że podróże w mniejszych ośrodkach mogą być niedoszacowane.

2.3.3. Zmienne objaśniające

Pierwszym krokiem w budowie modelu popytu jest przyjęcie i obliczenie lub oszacowanie wartości zmiennych objaśniających. Zmienne objaśniające odnoszone są do rejonów komunikacyjnych. Dobór zmiennych objaśniających powinien być oparty o kryteria: dostępności, wiarygodności i możliwości prognozowania. Najczęściej wykorzystywanymi zmiennymi są:

- liczba mieszkańców,
- liczba miejsc pracy ogółem oraz w podziale na sektory gospodarki,
- liczba miejsc w szkołach ponadpodstawowych,
- liczba miejsc na uczelniach.

Pomimo, że biorąc pod uwagę wymienione kryteria dotyczące zmiennych objaśniających ich liczba ogranicza się do wymienionych powyżej, są one zwykle wystarczające.

Zmienne objaśniające (np. liczba miejsc pracy, liczba mieszkańców) zwykle dostępne są dla powiatów, rzadziej dla gmin. Określenie zmiennych objaśniających dla rejonów komunikacyjnych możliwe jest z wykorzystaniem baz danych GIS [7] na podstawie udziału powierzchni budynków o różnych funkcjach w rejonie komunikacyjnym w stosunku do tej samej powierzchni w powiecie lub gminie [6].

2.3.4. Potencjały ruchotwórcze

Struktura ankiet w modelach regionalnych umożliwia dokładne przypisanie źródła i celu podróży do gmin, w mniejszym stopniu do rejonów komunikacyjnych. Stąd w modelach regionalnych zakłada się opracowanie formuł dla gmin, a następnie wykorzystanie ich dla wszystkich rejonów komunikacyjnych przynależących do danej gminy.

W modelach potencjałów ruchotwórczych oddzielnie należy rozważać gminy oraz miasta na prawach powiatu. Dla miast na prawach powiatu należy wykorzystać wyniki prowadzonych w nich badań ruchu albo wyniki badań przeprowadzonych w podobnych miastach. Natomiast w odniesieniu do gmin należy rozróżnić jej typ: gmina miejska, gmina wiejska, gmina miejsko-wiejska. Dodatkowo gminy miejsko-wiejskie dzielą się na: miasta w gminie miejsko-wiejskiej i obszary wiejskie w gminach miejsko-wiejskiej.

Opracowując model potencjałów ruchotwórczych dla województwa mazowieckiego [11] okazało się, że różnice w potencjałach pomiędzy poszczególnymi parami gmin są statystycznie nieistotne. Stąd opracowano formuły do wyznaczenia potencjału ruchotwórczego łącznie dla gmin miejskich i miast w gminach miejsko-wiejskich (obszary 1 i 4), łącznie dla gmin wiejskich i obszarów wiejskich w gminach miejsko-wiejskich (obszary 2 i 5) oraz dodatkowo dla gmin miejsko-wiejskich (obszar 3). Wszystkie formuły miały charakter regresji liniowej z jedną zmienną.

W ramach [11] rozważano również wpływ dostępności do kolei na wielkość potencjału ruchotwórczego. Pomimo że zauważalny był spadek wielkości potencjału wraz z oddalaniem się rejonu komunikacyjnego od najbliższej stacji kolejowej, wpływ ten był statystycznie nieistotny.

2.3.5. Rozkład przestrzenny podróży

Na etapie rozkładu przestrzennego podróży problematyczną kwestią jest uszczegółowienie podziału na rejon komunikacyjny, np. podział dużych gmin na mniejsze lub zwiększająca się gęstość podziału wraz z bliskością aglomeracji. W modelu dla województwa małopolskiego rozwiązano tę kwestię tworząc odpowiednią macierz kosztów użytą w modelu grawitacyjnym. W macierzy tej dla par rejonów będących częścią tej samej gminy koszt jest nieskończony (nie będą występować podróże wewnątrzgminne) a dla pozostałych jest odległością lub czasem. Pozwoliło to zastosować model generacji dla podróży międzygminnych dla rejonów mniejszych niż gmina, a jednocześnie mieć pewność na etapie rozkładu przestrzennego, że podróże będą faktycznie międzygminne.

Odczytany rozkład długości podróży międzygminnych w Małopolsce [8] nie dał się przybliżyć żadnym analitycznym rozkładem prawdopodobieństwa. Miał dwa szczyty: jeden w okolicy 20 kilometra i drugi w okolicy 50 kilometra. Pierwszy odpowiadał za podróże do najbliższego powiatu, a drugi do centrum regionalnego (Tarnów, Kraków, Nowy Sącz). Po nieudanych próbach dopasowania jakiegokolwiek rozkładu analitycznego okazało się, że rozmieszczenie przestrzenne potencjałów wytwarzających i absorbujących powoduje, że każde rozwiązanie problemu grawitacyjnego daje rozkład długości podróży zgodny z zaobserwowanym. Z tego doświadczenie wynika więc, że niekiedy warto sieci pozwolić znaleźć własne rozwiązanie problemu grawitacyjnego zgodne z rozmieszczeniem przestrzennym potencjałów ruchotwórczych w danej motywacji.

2.3.6. Podział zadań przewozowych

Pierwszym krokiem w podziale zadań przewozowych jest wydzielenie podróży pieszych (oraz czasem rowerowych). Z uwagi na fakt, że w modelach regionalnych rejon komunikacyjny są dość duże (często wielkości gminy) można założyć, że wszystkie podróże zewnątrzrejonowe (zewnątrzgminne) będą zmotoryzowane (tablica 1).

Tablica 1

Podział zadań przewozowych w zależności od typu podróży [9]

Środek transportu	Podróże wewnątrzgminne [%]	Podróże zewnątrzgminne [%]
Pieszo	36,0	1,1
Rower	2,8	0,7
Transport zbiorowy	11,7	14,2
Transport indywidualny	49,5	84,0

Stąd w modelach regionalnych przyjmuje się pierwotny podział zadań przewozowych w odniesieniu do ruchu pieszego np. przez wykorzystanie uśrednionego udziału podróży niepieszych w podróżach wewnątrzrejonowych i zewnątrzrejonowych.

W kolejnym kroku model podziału zadań przewozowych następuje podział podróży zmotoryzowanych pomiędzy podróże odbywane komunikacją zbiorową i indywidualną. W podziale zadań przewozowych wykorzystuje się funkcję logitową w postaci:

$$P_{KZ} = \frac{e^{\mu U_{KZ}}}{e^{\mu U_{KI}} + e^{\mu U_{KZ}}} \quad (1)$$

gdzie: P_{KZ} – prawdopodobieństwo wyboru środków komunikacji zbiorowej w podróżach, U_{KZ} – funkcja użyteczności komunikacji zbiorowej, U_{KI} – funkcja użyteczności dla komunikacji indywidualnej.

Funkcje użyteczności poszczególnych środków transportu może być tożsama z czasem przejazdu lub kosztem uogólnionym podróży. Ten etap w modelach regionalnych jest najtrudniejszy. Wynika to między innymi z liczności środków komunikacji zbiorowej (kolej regionalna i aglomeracyjna, autobusy regionalne i aglomeracyjne, mikrobusy). Pojawia się dylemat w jakim stopniu w podziale zadań przewozowych uwzględnić osobno poszczególne środki komunikacji zbiorowej?

2.3.7. Podróże Park and Ride (P+R)

W celu analizy podróży P+R w województwie mazowieckim [11] wykorzystano wyniki badań ankietowych w gospodarstwach domowych oraz wywiadów ankietowych z pasażerami pociągów. W ogólności podróże P+R zostały zaliczone do podróży realizowanych komunikacją zbiorową. Natomiast konieczne było uwzględnienie dodatkowo obciążenia sieci drogowej dojazdami do stacji kolejowych. W pierwszej kolejności opracowano model potencjałów ruchotwórczych dla podróży P+R. Uzyskano formułę w postaci:

$$P_{P+R} = 0,014 \cdot LM \cdot e^{-0,1 \cdot D_{KOL}}, R^2 = 0,87 \quad (2)$$

gdzie: P_{P+R} – potencjał wytwarzający gminy w podróżach P+R [sam. os./dobę], LM – liczba mieszkańców gminy, D_{KOL} – odległość rejonu komunikacyjnego od najbliższej stacji kolejowej, mierzona po sieci drogowej [km], przy czym $D_{KOL} < 20$ km.

W kolejnym kroku obliczono macierz podróży P+R wykorzystując model grawitacyjny. Parametry funkcji oporu przestrzeni estymowano na podstawie wyników badań ankietowych w pociągach. Uzyskano następującą postać funkcji:

$$F_{P+R}(l_{ij}) = 0,9 \cdot e^{-0,1 \cdot l_{ij}}, R^2 = 0,83 \quad (3)$$

gdzie: F_{P+R} – funkcja oporu przestrzeni w podróżach P+R, l_{ij} – odległość między rejonami mierzona po sieci [km].

Założono jednakową atrakcyjność rejonów komunikacyjnych, w których zlokalizowane są stacje kolejowe, wskutek czego podróże w modelu były realizowane do najbliższych stacji. Przedstawiona procedura umożliwia uwzględnienie dodatkowego ruchu samochodowego związanego z podróżami P+R. Jednak z uwagi na dość niski ich udział (ok. 2 %) pojawia się dylemat w jaki sposób i czy w ogóle modelować podróże P+R?

2.4. OCENA JAKOŚCI MODELU

Ocena jakości modelu prowadzona jest na etapie modelu popytu oraz rozkładzie ruchu na sieć. W pierwszym przypadku porównywane są sumy macierzy oraz rozkłady długości podróży uzyskane w modelu i ankietach. Zwykle ta część nie jest kłopotliwa i uzyskiwane zgodności są zadowalające. Problematiczne jest porównanie natężeń ruchu i potoków pasażerskich otrzymanych z modelu z wartościami uzyskanymi w pomiarach ruchu. Błędem byłoby zakładanie, że zmierzony potok jest potokiem typowym. W rzeczywistości jest jedną z realizacji nieznanego procesu losowego. Wobec tego trudno jest określić, czy model kalibrowany jest do pomiaru typowego, czy do losowej realizacji typowego procesu.

Ponadto wykorzystanie pomiarów natężenia ruchu w punkcie położonym wewnątrz rejonu komunikacyjnego jest niewłaściwe, ponieważ pomiar zawiera przejazdy wewnątrzrejonowe, a model ich nie uwzględnia. Prowadzi to do zafałszowania obrazu ruchu. Dlatego podstawową bazą danych pomiarowych powinny być wyłącznie punkty pomiarowe położone na granicach rejonów komunikacyjnych.

Dodatkowo niektóre kryteria zgodności, np. warunki GEH są bardzo rygorystyczne i wykluczają punkty, które zazwyczaj byłyby uznane za dobrze skalibrowane. Przykładowo dla pomiaru 1000 [poj./h] już wartość w modelu powyżej 1170 [poj./h] przekracza krytyczną wartość GEH 5 [11]. Również warunek zgodności sumarycznego potoku na kordonie jest rygorystyczny. Dla kordonów o małych potokach, jak np. Ostrołęka, suma pomiaru równa 800 [poj./h] pozwala na błąd wielkości 40 [poj./h] [11]. Należy więc podejść z pewną ostrożnością do weryfikacji i kalibracji oraz oceniać jakość modelu na wszystkich płaszczyznach.

3. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Pomimo stworzonych w ostatnich kilkunastu latach w Polsce wielu modeli regionalnych nadal pojawia się wiele dylematów. W podziale na rejony komunikacyjne podstawowym powinien być podział na gminy, natomiast gęstszy zależy od wielkości obszaru, przeznaczenia modelu i dostępnych zmiennych. Model potencjałów ruchotwórczych należy oprzeć o regresję pojedynczą z łatwo dostępnymi zmiennymi. Wyrafinowane zmienne mogą być osiągalne dla stanu istniejącego, ale w prognozach już nie. Sieć drogowa raczej powinna być uproszczona (pojedyncze odcinki, jeden węzeł sieci reprezentujący nawet złożone połączenia dróg) poprzez wykorzystanie warstw z osiami dróg. Odnośnie sieci komunikacji

zbiorowej niektóre województwa prowadzą pracę nad zakodowaniem w bazach GIS przystanków i ustandaryzowaniem rozkładów jazdy przekazywanych przez przewoźników.

Nierozwiązany zostaje problem ruchu zewnętrznego. Klasyczne badanie tranzytu (odczyt tablic) jest niemożliwe z uwagi bardzo duży obszar. Również zatrzymywanie i ankietowanie kierowców nie wchodzi w grę. Stąd szansa należy upatrywać w śledzeniu telefonów komórkowych lub systemach poboru opłat (np. ViaTOLL). Również problematyczne jest modelowanie ruchu ciężarowego, który w ogóle nie jest badany w ramach opracowywania regionalnych modelu podróży. Stąd pojawia się konieczność wykorzystania innych badań (np. [5]).

Reasumując, po doświadczeniach płynących z opracowania regionalnych modeli podróży nadszedł odpowiedni moment na podsumowanie dotychczasowych prac i ustandaryzowanie metody ich opracowywania.

Bibliografia

1. Bank Danych Lokalnych GUS (www.stat.gov.pl).
2. Garber N.: „Traffic and Highway Engineering”, Third Edition, University of Virginia, Thomson Learning, Pacific Groove (2002).
3. Jacyna M., Modelowanie i ocena systemów transportowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
4. Kucharski R., Parametryzacja rejonów komunikacyjnych w regionalnych modelach ruchu, Transport Miejski i Regionalny, 07-08/2011.
5. Kulpa, T., Modelowanie potencjałów ruchotwórczych w drogowym transporcie ładunków w skali regionu, Rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, 2013.
6. Kulpa T., Banet K, Rogala S., Tworzenie modeli podróży z wykorzystaniem baz danych GIS, Transport Miejski i Regionalny, 1/2016.
7. Opis baz danych obiektów topograficznych i ogólnogeograficznych oraz standardy techniczne tworzenia map, Załącznik do rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 17 listopada 2011 r. w sprawie bazy danych obiektów topograficznych oraz baz danych obiektów ogólnogeograficznych, a także standardowych opracowań kartograficznych. USTAWA TPZ Ustawa o publicznym transporcie zbiorowym, Dz. U. 2011 Nr 5 poz. 13.
8. Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego w województwie małopolskim, Województwo Małopolskie, Kraków 2013.
9. Studium Transportowe Aglomeracji Rybnickiej. Tom II. Model ruchu. Miasto Rybnik, 2015.
10. Szarata A., Estimation of Daily Traffic on Local Roads in Indiana State – a mix of heuristic search tool, GIS and Visum simulation, 2nd International Conference on Transportation Information and Safety, Wuhan, 28 Jun – 1 Jul 2013.
11. Wykonanie modeli podróży w województwie mazowieckim w ramach projektu „Trendy rozwojowe Mazowsza”, Mazowieckie Biuro Planowania Regionalnego, Warszawa, 2015.

REGIONAL TRAVEL MODEL DEVELOPMENT – ASSUMPTIONS AND DILEMMAS

Summary: In the paper experiences gained by Authors during regional travel model development were presented. In particular individual steps of demand model was characterised, including possible approached and dilemmas. Supply model development was also discussed, considering road network density and classification. The paper is a contribution in discussion on regional travel model development, which is carried within research project.

Keywords: trip modelling, demand model, regional travel model