

PIOTR ROSIK

dr hab., prof. ndzw. IGiPZ, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa, e-mail: rosik@twarda.pan.pl

TOMASZ KOMORNICKI

prof. dr hab., Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa, e-mail: t.komorn@twarda.pan.pl

SŁAWOMIR GOLISZEK

mgr, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa, e-mail: sgoliszek@twarda.pan.pl

PRZEMYSŁAW ŚLESZYŃSKI

dr hab. prof. ndzw. IGiPZ, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa, e-mail: psleszyn@twarda.pan.pl

WOJCIECH POMIANOWSKI

mgr, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa, e-mail: wpo@twarda.pan.pl

Modelowanie ruchu w Polsce z wykorzystaniem gminnego poziomu agregacji danych¹

Streszczenie: Modelowanie osobowego ruchu drogowego na poziomie krajowym w Polsce nie było jak dotąd przedmiotem wielu pogłębionych analiz przestrzennych. Wynika to przede wszystkim z braku kompleksowych badań ruchu obejmujących cały kraj. Większość analiz realizowanych jest na poziomie miast lub aglomeracji, a w ostatnich latach – również na poziomie poszczególnych województw. Głównym celem artykułu jest rozwinięcie modelowania ruchu na całą Polskę, w szczególności skali przestrzennej (duża liczba rejonów transportowych na poziomie gminnym) z wykorzystaniem danych statystycznych wskazujących na lokalne uwarunkowania związane ze strukturą przestrzenną i społeczno-ekonomiczną oraz z układem powiązań funkcjonalnych. Celem poznawczym jest identyfikacja czynników mających wpływ na rozkład i natężenie ruchu pojazdów osobowych. Zaproponowana metodologia może być w przyszłości podstawą ustalenia zasad prognozowania ruchu na sieci drogowej całego kraju (na podstawie obserwacji specyficznych uwarunkowań regionalnych). Znajomość uwarunkowań regionalnych i lokalnych to szansa na terytorializację polityki transportowej (np. jako element zintegrowanych programów rozwojowych – ZPR – proponowanych w Strategii Odpowiedzialnego Rozwoju).

Słowa kluczowe: modelowanie ruchu, samochody osobowe, motywacje podróży, zróżnicowanie regionalne, gminy w Polsce.

Wprowadzenie

Modelowanie osobowego ruchu drogowego na poziomie krajowym w Polsce nie było jak dotąd przedmiotem wielu pogłębionych analiz przestrzennych. Wynika to przede wszystkim z braku kompleksowych badań ruchu obejmujących cały kraj. Większość analiz wykonywanych na bazie

kilkutysięcznych prób (ankietowane gospodarstwa domowe i użytkownicy sieci) realizowane jest na poziomie miast lub aglomeracji, a w ostatnich latach – również na poziomie poszczególnych województw. Z kolei tzw. Krajowy Model Ruchu [1] opracowano w oparciu o Generalny Pomiar Ruchu 2005 [2] na kilkudziesięciu tzw. punktach kontrolnych, tylko na sieci dróg krajowych, w tym na przejściach granicznych. Jest to zatem model bardzo uproszczony i z tego powodu niewystarczający do rosnących potrzeb w tym zakresie. W literaturze światowej przegląd badań w zakresie modelowania ruchu na poziomie regionalnym uwzględniono m.in. w [3] lub [4].

W artykule podjęto się próby modelowania osobowego ruchu drogowego (w rozumieniu pojazdów SDR3 w ramach Generalnego Pomiaru Ruchu, czyli samochodów osobowych i mikrobusów) na podstawie wtórnych danych statystycznych. Dane te obrazują powiązania i przepływy społeczno-ekonomiczne. Sposób wykorzystania informacji był zależny od ich dostępności na poziomie gminnym. Dla dwóch motywacji podróży wykorzystano dane macierzowe (dojazdy do pracy i migracje). Dane te obrazują rzeczywiste relacje każdej jednostki z wszystkimi pozostałymi. Dla czterech pozostałych motywacji podróży (wyjazdy na zakupy, dojazdy do szkoły wyższej, podróże biznesowe i podróże turystyczne) oparto się na danych w układzie produkcja-atrakcja. Tak rozumiane, lokalne uwarunkowania społeczno-ekonomiczne, jak i powiązania funkcjonalne były jak dotąd często pomijane dla celów prognozowania ruchu na poziomie regionalnym lub krajowym. W efekcie prognozy ruchu były oderwane od szerszego kontekstu społecznego i gospodarczego. Nie uwzględniały przemian zachodzących w przestrzeni kraju, takich jak m.in. migracje i koncentracja potencjału gospodarczego w metropoliach. Dynamika tych procesów powoduje, że integracja badań ruchu i szeroko rozumianych analiz społeczno-ekonomicznych stała się konieczna dla prowadzenia polityki transportowej oraz polityki regionalnej.

¹ ©Transport Miejski i Regionalny, 2018. Wkład autorów w publikację: Piotr Rosik – 55%, Tomasz Komornicki – 15%, Sławomir Goliszek – 15%, Przemysław Śleszyński – 10%, Wojciech Pomianowski – 5%.

² Artykuł jest efektem końcowym prac badawczych realizowanych w ramach grantu naukowego pt.: „Kompleksowe modelowanie osobowego ruchu drogowego w Polsce wraz z identyfikacją jego lokalnych uwarunkowań społeczno-ekonomicznych” (akronim projektu KoMaR PL) realizowanego w Instytucie Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN (IGiPZ PAN) w latach 2013–2016. Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji nr DEC-2012/05/B/HS4/04147.

Głównym celem artykułu jest rozwinięcie modelowania ruchu na całą Polskę, w szczególowej skali przestrzennej (duża liczba rejonów transportowych na poziomie gminnym) z wykorzystaniem danych statystycznych wskazujących na lokalne uwarunkowania związane ze strukturą przestrzenną i społeczno-ekonomiczną oraz z układem powiązań funkcjonalnych. Celem poznawczym jest identyfikacja czynników mających wpływ na rozkład i natężenie ruchu pojazdów osobowych. Identyfikacja ta pozwala na wydzielenie tych odcinków sieci lub obszarów kraju, dla których lokalne uwarunkowania społeczno-ekonomiczne oraz specyficzne połączenia funkcjonalne decydują o odbiegającym od obliczonego w modelu, i możliwie najlepiej dopasowanego do rzeczywistego, rozkładu ruchu na sieci zamiejskich dróg krajowych i wojewódzkich w Polsce w 2010 roku.

Celem metodycznym w artykule było zaproponowanie metodyki badawczej dla prognozowania ruchu dla całego kraju na sieci zamiejskich dróg krajowych i wojewódzkich w postaci modelu, czyli dodatkowego narzędzia ułatwiającego wykorzystanie dostępnych wtórnych danych statystycznych, zarówno w ujęciu produkcji-atrakcji (potencjałów ruchotwórczych), jak i danych macierzowych, z uwzględnieniem autorskiego modelu prędkości ruchu i szeregu czynników mających wpływ na prędkość pojazdów. Jest to równocześnie cel aplikacyjny, gdyż powstały model powinien mieć zastosowanie w praktyce prognozowania ruchu i planowania sieci transportowych. W badaniach wykorzystano oprogramowanie VISUM.

Zakres czasowy i przestrzenny

Zakres czasowy badania został określony na rok 2010, zgodnie z przeprowadzonym Generalnym Pomiarze Ruchu (GPR) na sieci zamiejskich dróg krajowych i wojewódzkich. Duża część materiału statystycznego, przede wszystkim dane w układzie produkcja-atrakcja (dane dla rejonów transportowych), również odnosi się do roku 2010. W przypadku danych macierzowych (więźba ruchu) uzyskanych dla dojazdów do pracy oraz wymeldowań i zameldowań (motywacja odwiedzin znajomych i krewnych), dostępność danych wymagała pewnego przesunięcia czasowego. Dla dojazdów do pracy był to rok 2011, a dla macierzy wymeldowań i zameldowań – średnia z lat 2006 i 2009.

Zakres przestrzenny badania dotyczy sieci drogowej na obszarze całego terytorium Polski (sieć dróg krajowych i wojewódzkich oraz ważniejsze odcinki dróg lokalnych, tj. powiatowych i gminnych). Punktem odniesienia do analizy porównawczej ruchu modelowanego i ruchu rzeczywistego (GPR2010) była sieć zamiejskich dróg krajowych i wojewódzkich, na której wykonano Generalny Pomiar Ruchu. W badaniu uwzględniono 2321 rejonów transportowych (rejonów wewnętrznych) na poziomie gminnym. Ponadto uwzględniono ruch pojazdów osobowych na wyodrębnionych 62 punktach granicznych (rejonach zewnętrznych). Uwzględniono, jako kary czasowe, opłaty autostradowe obowiązujące w 2010 roku.

W wykorzystywanym modelu prędkość na danym odcinku sieci została wyznaczona w sposób autorski trzyetapowy, a następnie, dopiero na czwartym etapie procedury, uwzględniono założenia wpływu natężenia ruchu na zmianę prędkości (z wykorzystaniem oprogramowania VISUM). Jest to zatem oryginalne podejście do tematu obliczania prędkości, mocno alternatywne względem obowiązującego (bazującego w dużym stopniu jedynie na natężeniu ruchu). Wykorzystanie podejścia alternatywnego wiąże się z pośrednim uwzględnieniem innych (poza natężeniem ruchu jako zmiennej warunkującej prędkość) ograniczeń prędkości. Źródłem danych dotyczących prędkości ruchu samochodów osobowych w 2010 roku był przede wszystkim **model prędkości ruchu** opracowany przez zespół pracowników IGiPZ PAN rozwijany dla potrzeb analiz izochronowych i dostępności potencjałowej [5, 6, 7, 8, 9, 10]. W modelu tym (modelach) uwzględniano czynniki, słabo lub w ogóle pomijane w typowych modelach inżynierskich, a silnie wpływające na warunki jazdy i tym samym prędkość ruchu. Stąd oszacowana prędkość ruchu nie jest „swobodna”, a ma za zadanie możliwie przybliżyć średnią możliwą do uzyskania prędkość w przemieszczeniach, z uwzględnieniem przepisów kodeksu drogowego, parametrów techniczno-funkcjonalnych dróg i warunków ruchu [5]. Na potrzeby niniejszego artykułu model prędkości pojazdów osobowych został opracowany przy założeniu wpływu trzech zmiennych na prędkość pojazdów, tj.:

- liczby ludności w buforze 5 km w otoczeniu odcinka,
- obszaru zabudowanego,
- ukształtowania terenu.

Modele jednomotywacyjne

Procedura badawcza przewiduje realizację szeregu symulacji mających na celu doprowadzenie do możliwie najlepiej dopasowanego modelu względem ruchu osobowego w Generalnym Pomiarze Ruchu 2010, a także wykonanie swoistego rodzaju ćwiczenia rozkładu ruchu w hipotetycznej sytuacji, gdy cały ruch jest realizowany w jednej z sześciu wyróżnionych motywacji.

Modele jednomotywacyjne dla sześciu wyróżnionych motywacji podróży – dojazdy do pracy (COM), wyjazdy na zakupy (CH), dojazdy do szkoły wyższej (EDU), podróże biznesowe (BIZ), odwiedzin znajomych i krewnych (VFR) oraz podróże turystyczne (TUR)). W odróżnieniu od modelu bazowego, w którym zarówno produkcją, jak i atrakcją jest liczba ludności w gminach, symulacje w modelach jednomotywacyjnych zostały wykonane na podstawie odmiennych założeń dotyczących produkcji i atrakcji ruchu, a także różnych funkcji oporu przestrzeni (częściowo na podstawie gotowej więźby ruchu) (tabela 1).

Źródłem większości danych (ludność ogółem, spółki prawa handlowego, liczba supermarketów, hipermarketów, domów towarowych i handlowych, ludność w grupie wiekowej 19–24 lata, liczba studentów oraz liczba miejsc noclegowych) był Bank Danych Lokalnych GUS. Wybór zarówno produkcji, jak i atrakcji był dosyć intuicyjny i zgodny z większością badań ruchu.

Tabela 1

| Motywacja | Potencjały ruchotwórcze | | Opór przestrzeni* | R ² |
|---------------------------------------|---|---|---|----------------|
| | Produkcja | Atrakcja | | |
| Model bazowy | Ludność (2010) | Ludność (2010) | 15 minut | 0,63 |
| Dojazdy do pracy (COM) | Macierz dojazdów do pracy (2011) | | Jak w macierzy – więźba ruchu (bez dojazdów pow. 120 minut) | 0,65 |
| Wyjazdy na zakupy (CH) | Ludność (2010) | Liczba supermarketów, hipermarketów, domów towarowych i domów handlowych (2010) | 10 minut | 0,60 |
| Dojazdy do szkoły wyższej (EDU) | Ludność w wieku 19-24 lata (2010) | Liczba studentów (2012) | 20 minut | 0,51 |
| Podróże biznesowe (BIZ) | Spółki prawa handlowego (2010) | Spółki prawa handlowego (2010) | 15 minut | 0,62 |
| Odwiedziny znajomych i krewnych (VFR) | Macierz przemeldowań (średnia z 2006 i 2009 r.) | | Jak w macierzy – więźba ruchu | 0,66 |
| Podróże turystyczne | Ludność ogółem (2010) | Liczba miejsc noclegowych (2010) | 60 minut | 0,39 |

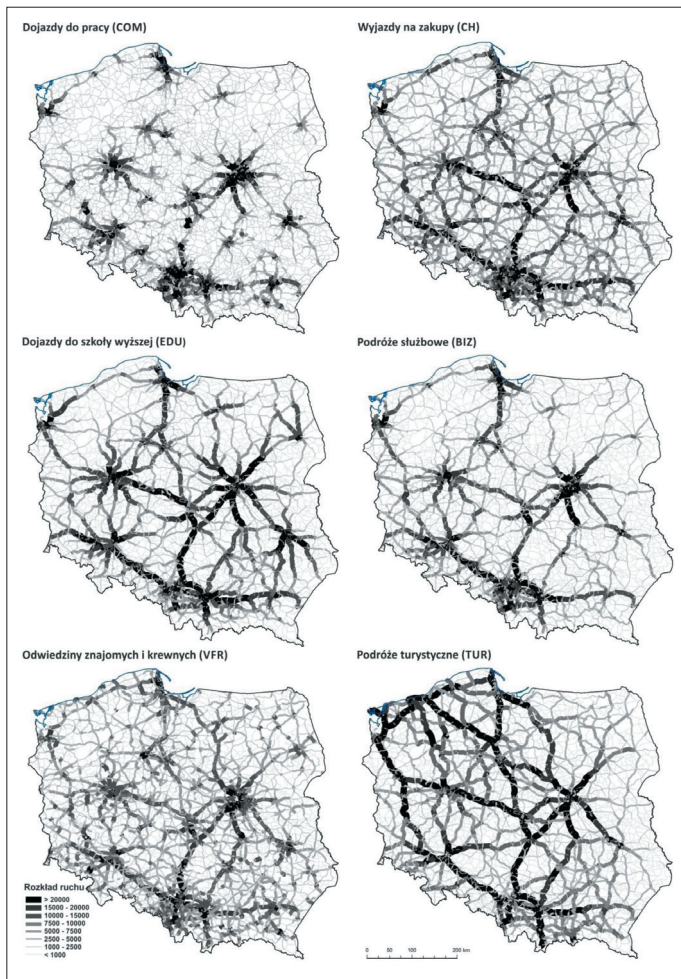
*czas podróży odpowiadający połowie spadku atrakcyjności celu podróży

Źródło: opracowanie własne

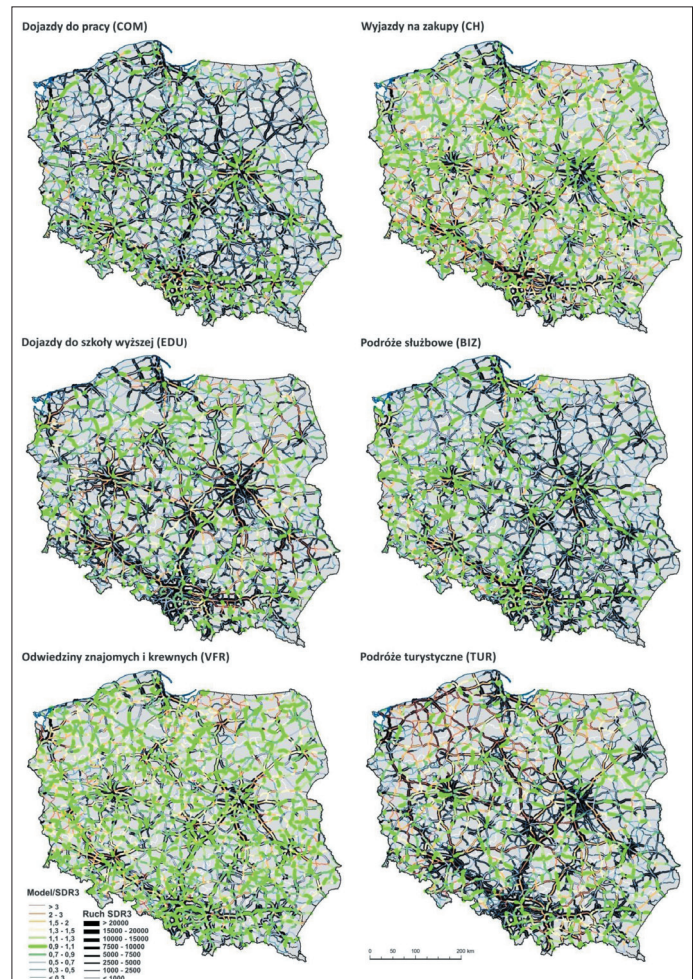
W celu pełnej porównywalności danych ujednolicono łączny wolumen „masy” zarówno dla produkcji, jak i atrakcji dla każdej z motywacji. Dla każdej z motywacji określono też, na podstawie szeregu symulacji, inną funkcję oporu przestrzeni, określającą spadek atrakcyjności celu podróży wraz ze zwiększaniem się odległości czasowej między źródłem a celem podróży. Przyjęto, że wybór takiego a nie innego parametru funkcji oporu przestrzeni wynika bezpośrednio z dopasowania modelu, tzn. wybór parametru dla najwyższej wartości współczynnika determinacji R². Funkcja oporu przestrzeni przyjęła postać funkcji wykładniczej eksponencjalnej. Przykładowo,

dla podróży turystycznych wybrany przy najlepszym dopasowaniu wykładnik potęgi $\beta = 0,011552$, daje spadek atrakcyjności celu podróży do połowy po 60 minutach, do 0,25 po 120 minutach i do 0,1 przy prawie 200 minutach.

Modele jednomotywacyjne różnią się pomiędzy sobą nie tylko w zakresie produkcji i atrakcji oraz oporu przestrzeni, ale także, co jest w pewnym sensie konsekwencją powyższych, rozkładem ruchu na sieci. Model dojazdów do pracy jest najbardziej koncentryczny, ruch skupia się wyraźnie na drogach prowadzących do aglomeracji i ma strukturę fraktalną. Model dojazdów do szkoły wyższej cechuje wyraźny regionalizm ruchu



Rys. 1. Hipotetyczny rozkład natężenia ruchu pojazdów osobowych/24h w 2010 r. w poszczególnych motywacjach w przypadku, gdy cały ruch na sieci jest w jednej motywacji (wraz z ruchem zewnętrznym). Ujęcie modelowe



Rys. 2. Przeszacowanie/niedoszacowanie natężenia ruchu pojazdów osobowych/24h w 2010 r. dla poszczególnych motywacji podróży. Model a GPR2010

oraz swoistego rodzaju zlewnie ośrodków akademickich, najczęściej ograniczone, z wyjątkiem największych ośrodków, do granic administracyjnych województw. Model podróży służbowych akcentuje najbardziej prężne rynkowo aglomeracje i trasy pomiędzy nimi. Modele wyjazdów na zakupy oraz odwiedzin znajomych i krewnych rozkładają ruch również na pozostałe drogi, w tym drogi wojewódzkie. Model podróży turystycznych różni się znacznie od pozostałych ze względu na fakt, iż lokalizacja produkcji i atrakcji ruchu jest znacząco oddalona w ujęciu przestrzennym (rysunek 1).

Modele jednomotywacyjne są generalnie dobrze dopasowane do SDR3 w GPR2010 (rysunek 2). Współczynnik determinacji R^2 waha się w granicach 0,39 (TUR) do 0,66 (VFR). Generalnie, poza modelem podróży turystycznych TUR, dopasowanie modeli jednomotywacyjnych ($R^2=0,51-0,66$) jest zbliżone do modelu bazowego ($R^2=0,63$) (tabela 1).

Generalnie wysoki poziom dopasowania w modelach jednomotywacyjnych (poza ruchem turystycznym) świadczy o koncentrowaniu się różnych rodzajów ruchu na tych samych odcinkach (efekt skupienia wielu funkcji społeczno-gospodarczych w tych samych ośrodkach, ale także po części rezultat silnego zróżnicowania jakościowego polskiej infrastruktury drogowej). Modele wyjazdów na zakupy oraz odwiedzin znajomych i krewnych w największym stopniu rozkładają ruch również na drogi wojewódzkie na obszarach pozametropolitalnych. Jednomotywacyjny model dojazdów do pracy niedoszacowuje obszarów wiejskich (poza policentrycznym Podkarpaciem), a nieznacznie przeszacowuje niektóre aglomeracje, co można ostrożnie wiązać z wyższym udziałem transportu publicznego w dojazdach. Model podróży służbowych jest odzwierciedleniem podziału na Polskę zachodnią (dobre dopasowanie) i wschodnią (niedoszacowanie spowodowane mniejszą liczbą przedsiębiorstw). Częściowo przeszacowane są też niektóre trasy do Krakowa, Poznania, Wrocławia, przy niedoszacowaniu Warszawy.

Model wielomotywacyjny

W celu połączenia sześciu modeli jednomotywacyjnych w jeden model wielomotywacyjny uwzględniono, bazując głównie na *Badaniu pilotażowym...*[11], udziały podróży w poszczególnych motywacjach, następnie przyjęto dla każdej motywacji średnią długość podróży, następnie obliczono w ten sposób pracę przewozową wykonywaną na sieci w każdej motywacji. Na ostatnim etapie procedury uwzględniono różnice w podziale modalnym między poszczególnymi motywacjami i w ten sposób osiągnięto szacunkowe udziały przebiegów samochodów w poszczególnych motywacjach. Łączną sumę przebiegów przyrównano do pracy przewozowej samochodów osobowych w Generalnym Pomiarze Ruchu 2010.

Roczne przebiegi samochodów w modelu wielomotywacyjnym przyjęto na podstawie udziału podróży i średniej długości podróży uzyskanej z *Badania pilotażowego...* [11]. Niemniej przyjęto szereg dodatkowych założeń. W porównaniu do przyjętych w niniejszym artykule sześciu kluczowych motywacji podróży różnica polega na braku w *Badaniu pilotażowym...* [11] „potrzeb osobistych”, w zamian których

jest motywacja „odwiedziny znajomych i krewnych”. Motywację „odwiedziny znajomych i krewnych” potraktowano jako „potrzeby osobiste” oraz „pozostałe podróże”, a „podróże turystyczne” jako „spędzanie wolnego czasu”. Pozostałe podróże podzielono po połowie na „odwiedziny krewnych i znajomych” oraz „podróże turystyczne”.

W podziale modalnym przyjęto, że dla większości motywacji udział motoryzacji indywidualnej wynosi 70%, dla dojazdów do szkół i uczelni – 30%, a dla podróży służbowych – 80%. Określone wartości dla podróży krótkich (dojazdy do pracy, dojazdy do szkoły i wyjazdy na zakupy) są nieznacznie wyższe od tych wynikających z większości badań ruchu, ponieważ główny nacisk został położony na te podróże, dla których przekraczana jest granica gminy (z wykluczeniem ruchu wewnątrzmińskiego, gdzie udział samochodu osobowego jest zazwyczaj odpowiednio niższy) (tabela 2).

Tabela 2

| Udziały przebiegów samochodów w poszczególnych motywacjach | | | | | | |
|--|-----------------|--------------------------------|------------------|---------|-----------------|-------------------------------|
| | Udział podróży* | Średnia długość podróży (km)** | Praca przewozowa | Udziały | Podział modalny | Udziały przebiegów samochodów |
| Dojazdy do pracy | 47,6 | 12,8 | 609,28 | 46,0% | 0,70 | 47,5% |
| Dojazdy do szkoły | 7,8 | 11,7 | 91,26 | 6,9% | 0,30 | 3,0% |
| Wyjazdy na zakupy | 20,4 | 7,0 | 142,80 | 10,8% | 0,70 | 11,1% |
| Business | 1,0 | 67,2 | 67,20 | 5,1% | 0,80 | 6,0% |
| Odwiedziny krewnych i znajomych | 16,0 | 13,6 | 217,60 | 16,4% | 0,70 | 17,0% |
| Wyjazdy turystyczne | 7,2 | 27,4 | 197,28 | 14,9% | 0,70 | 15,4% |
| Wszystkie motywacje razem | 100 | | 1325,42 | 1,00 | 0,68 | 100,0% |

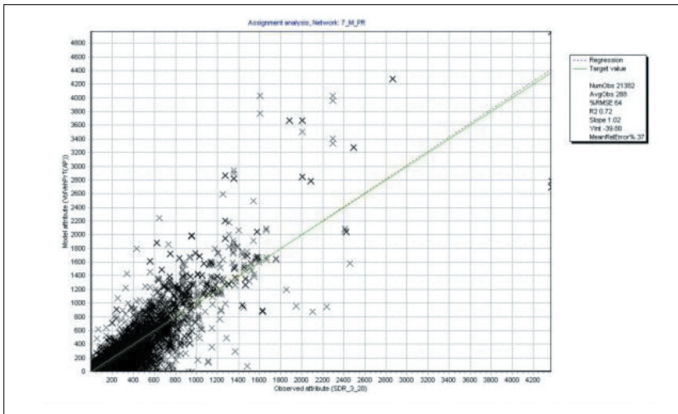
* Na podstawie [11], tabl. 3. Udział % rocznej liczby podróży według wybranych celów podróży w województwach (udziały nie sumują się do 100% – przyjęto, że pozostałe podróże to odwiedziny znajomych i krewnych)
 ** Na podstawie [11], tabl. 15. Średnia odległość przewozu 1 osoby we wszystkich rodzajach podróży według celów podróży; dla odwiedzin znajomych i krewnych wskazano na dystans dla potrzeb osobistych (13,6 km), a dla podróży turystycznych – dystans dla spędzania wolnego czasu (27,4 km)

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem danych z [11]

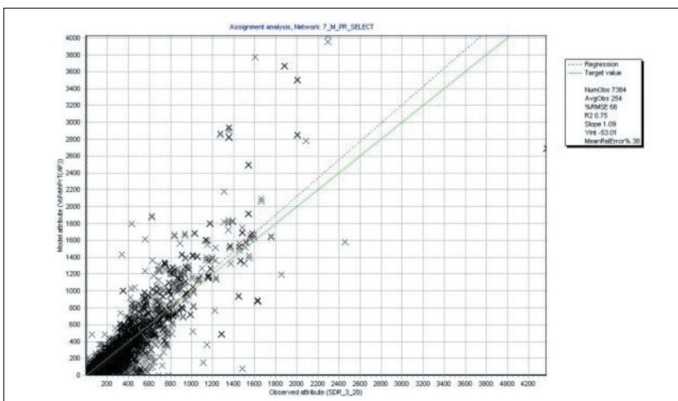
W porównaniu do wyników [11] w niniejszym artykule założono znacznie wyższy udział w pracy przewozowej podróży długich (podróże służbowe, odwiedziny znajomych i krewnych oraz podróże turystyczne), które łącznie stanowią 38% przebiegów (w analizie GUS – podróże służbowe, potrzeby osobiste i spędzanie wolnego czasu to jedynie 24% łącznej pracy przewozowej w motoryzacji indywidualnej). Znacznie mniejszy jest również udział dojazdów do pracy (odpowiednio 47,5% w relacji do 60,4%). Zdaniem autorów udział podróży długich w pracy przewozowej w badaniu GUS jest niedoszacowany (przynajmniej w odniesieniu do podróży międzygminnych). Można założyć, że badanie udziału poszczególnych motywacji w celu najlepszego dopasowania modelu powinno uwzględniać wyżej zarysowane różnice.

W modelu wielomotywacyjnym posłużono się krzywymi oporu przestrzeni identycznymi jak te, które były najlepiej dopasowane w poszczególnych motywacjach (tabela 1). Autorzy mają świadomość, że jest to zabieg upraszczający rzeczywistość, szczególnie dla krótkich podróży (np. w podróży służbowych, które w badaniu GUS i wielu innych badaniach generalnie są zaliczane raczej do tzw. podróży długich, w modelu jednomotywacyjnym zostały najlepiej dopasowane dla tzw. *halftime* na poziomie 15 minut, co sprowadza je do kategorii podróży krótkich). W dalszych badaniach należałoby w większym stopniu wykorzystać krzywe oporu przestrzeni w poszczególnych motywacjach wynikające z badań ruchu (najlepiej na poziomie krajowym i regionalnym).

Model wielomotywacyjny okazał się dość dobrze dopasowany ($R^2 = 0,72$; rysunek 3, a przy uwzględnieniu jedynie odcinków przekraczających granicę gmin – nawet $R^2 = 0,75$; rysunek 4). Wskaźnik determinacji jest wyższy niż w modelu bazowym, gdzie produkcją i atrakcją była liczba ludności ($R^2 = 0,63$) oraz wyższy niż w poszczególnych modelach jednomotywacyjnych, tj. dla sześciu wyszczególnionych motywacji podróży ($R^2 = 0,39-0,66$). Połączenie sześciu motywacji w jednym modelu doprowadziło do poprawy jego dopasowania. Z drugiej strony wartość wskaźnika (0,72) jest jedynie nieznacznie wyższa od tej otrzymanej dla niektórych modeli jednomotywacyjnych, gdzie podstawą do symulacji były dane macierzowe (COM – $R^2 = 0,65$, VFR – $R^2 = 0,66$). Dalsza poprawa dopasowania modelu może wymagać uwzględnienia regionalnych zróżnicowań w mobilności.



Rys. 3. Dopasowanie modelu wielomotywacyjnego MW do SDR3 (GPR2010). Wszystkie odcinki sieci



Rys. 4. Dopasowanie modelu wielomotywacyjnego MW do SDR3 (GPR2010). Odcinki sieci przekraczające granice gmin

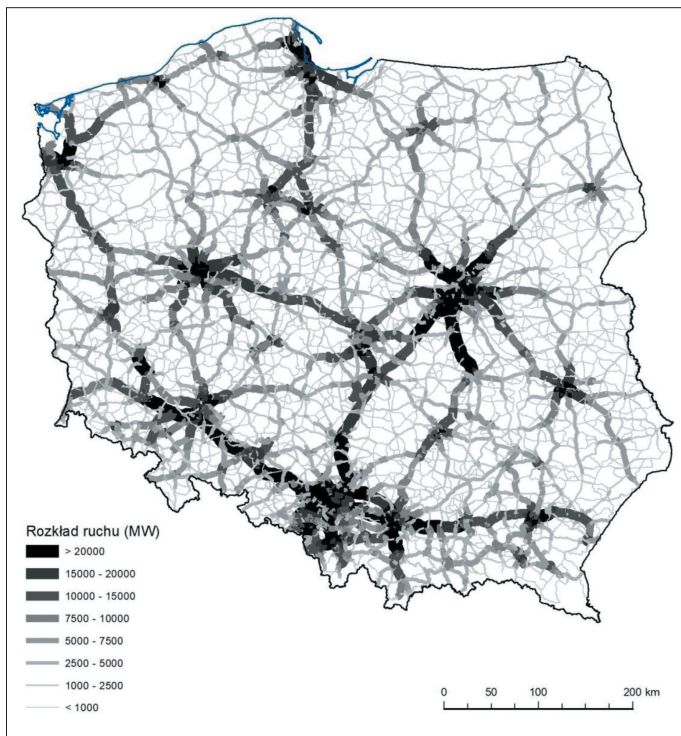
Model jest dobrze dopasowany na kluczowych drogach krajowych charakteryzujących się wysokim natężeniem ruchu. Zdarzają się wyjątki przeszacowania np. na drogach dojazdowych do Szczecina. W innych aglomeracjach przeszacowanie ruchu powyżej 50% występuje na pojedynczych odcinkach wyjazdowych. Znaczne niedoszacowanie ruchu wystąpiło na drodze krajowej DK50/DK62, tzw. dużej obwodnicy Warszawy, co może wynikać z faktu, iż w rzeczywistości duży jest udział kierowców omijających przejazd przez Warszawę. Ponadto brak wystarczającej liczby autostrad i dróg ekspresowych skutkowało w 2010 roku, podobnie jak na innych drogach wojewódzkich w centrum Mazowsza, przeniesieniem ruchu na inne ciągi dróg. Jest to szczególnie widoczne na drogach w połączeniu funkcjonalnym między Warszawą a Lublinem. Problem przenoszenia ruchu na drogi niższej kategorii będzie tracił na znaczeniu. Wiąże się to z rozbudową infrastruktury i dokończeniem podstawowych ciągów dróg ekspresowych i autostrad (pełnych połączeń międzyaglomeracyjnych).

Dopasowanie modelu na drogach wojewódzkich poza aglomeracjami, przede wszystkim na obszarze byłego Królestwa Kongresowego oraz na obszarach górskich ma charakter niedoszacowania. Stanowi to pewną odwrotność wniosków wynikających z modelu bazowego (gdzie atrakcją i produkcją jest liczba ludności).

Na tych obszarach, gdzie koncentracja atrakcji (w sensie wyróżnionych motywacji tj. miejsc pracy, przedsiębiorstw, miejsc atrakcyjnych turystycznie, szkół wyższych itd.) jest niewielka w relacji do potencjału demograficznego (gęstość ludności), tam w procesie modelowania należałoby znaleźć dodatkowe atrakcje na poziomie lokalnym. Są to m.in. lokalne sklepy (obszary niedoszacowane w modelu wielomotywacyjnym są również najczęściej niedoszacowane w modelu wyjazdów na zakupy), kościoły, przychodnie, apteki, przedszkola, szkoły podstawowe i inne usługi użyteczności publicznej, warsztaty samochodowe itd., które stają się „prawdziwymi” celami podróży na obszarach wiejskich. Baza tego typu usług użyteczności publicznej w postaci milionów adresów powstała w IGIPZ PAN i powinna zostać w przyszłości wykorzystana do modelowania ruchu.

W rejonie aglomeracji, w tym głównie Warszawy w obu modelach (wielomotywacyjnym i bazowym), występuje niedoszacowanie, zwłaszcza na drogach wojewódzkich (niektórych doprowadzających oraz obwodowych). Może to oznaczać, że w rzeczywistości miasta te (a szczególnie stolica) mają w rzeczywistości większą ludność (niezameldowaną) niż wynika ze statystyki, większy poziom migracji, ale także większą koncentrację miejsc pracy (szara strefa).

Istotne są również czynniki związane z procesem tworzenia się sieci drogowej. Proces ten był szczególnie intensywny w 2010 roku. Występuje czynnik negatywnej percepcji przejazdu przez duże ośrodki. Ponadto na wielu odcinkach remonty i modernizacje mogły skutkować chęcią poszukiwania przez kierowców alternatywnych tras obwodowych. Wszystkie wyżej wymienione czynniki sieciowe mają charakter przejściowy i po okresie modernizacji sieci można oczekiwać „łatwiejszego” modelowania i większego dopasowania modelu do rzeczywistego rozkładu ruchu.

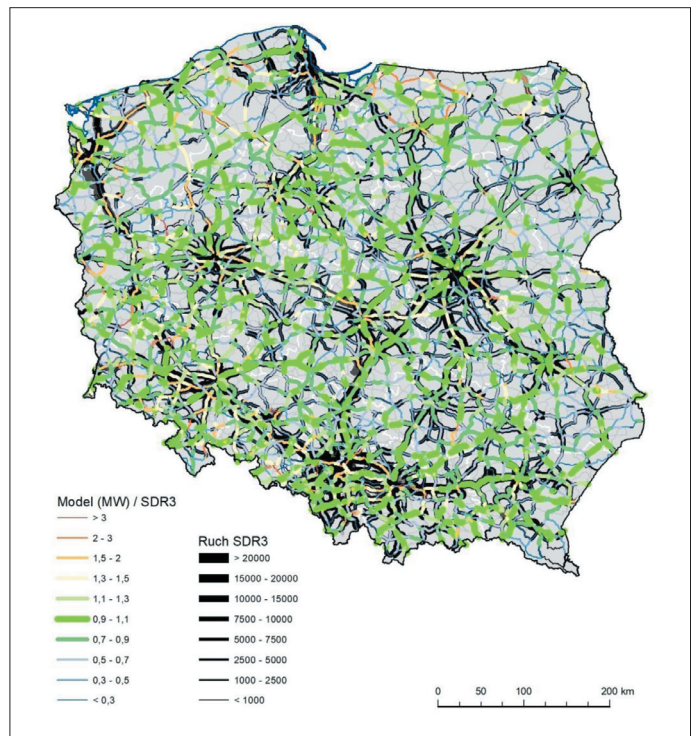


Rys. 5. Hipotetyczny rozkład natężenia ruchu pojazdów osobowych/24h w 2010 r. w modelu wielomotywacyjnym (MW)

Interesującym zagadnieniem jest przeszacowanie ruchu na trasach na styku regionów małopolskiego i śląskiego oraz wielkopolskiego i łódzkiego. W zasadzie ruch na wszystkich drogach prowadzących z Krakowa do GOP (i to zarówno w modelu wielomotywacyjnym, jak i bazowym) jest znacznie przeszacowany (z wyjątkiem niedowartościowanej położonej na południe od A4 DW780, na której zostało wykonane badanie terenowe). Innym przykładem podobnej zależności jest układ równoległej autostrady A2 i drogi krajowej DK72 między Łodzią a Koninem. W tym przypadku również ruch na autostradzie jest znacznie przeszacowany. Fakt, że rzeczywisty ruch między bliskimi aglomeracjami (Kraków / GOP) lub regionami (łódzkie / wielkopolskie) jest wyraźnie mniejszy od uzyskanego w modelu, można interpretować jako istnienie ukrytych, niewidocznych granic (*phantom borders*) uwarunkowanych historycznie (granice zaborów) i kulturowo. Można to także tłumaczyć strukturalnym niedopasowaniem sąsiadujących gospodarek regionalnych (np. między przemysłowym Śląskiem i wielofunkcyjnym „usługowym” Krakowem) osłabiającym np. ruch w ramach podróży służbowych.

Podsumowanie

Model wielomotywacyjny jest najlepiej dopasowanym modelem ($R^2 = 0,72$). Prowadzi to do wniosku, że połączenie sześciu motywacji w jednym modelu powiodło się i doszło do poprawy jego dopasowania. Model jest dobrze dopasowany na kluczowych drogach krajowych charakteryzujących się wysokim natężeniem ruchu. Wyjątek stanowią pojedyncze **przeszacowane** odcinki dróg wylotowych do największych miast (Wrocławia, Poznania, Krakowa oraz Szczecina). Wraz z rozbudową infrastruktury i dokończeniem podstawowych ciągów dróg ekspresowych i autostrad (pełnych połączeń międzyaglo-



Rys. 6. Przeszacowanie / niedoszacowanie natężenia ruchu pojazdów osobowych w 2010 r. Model wielomotywacyjny (MW) a SDR3 (GPR2010)

meracyjnych) problem przenoszenia ruchu na drogi niższej kategorii będzie tracił na znaczeniu. Dopasowanie modelu na drogach wojewódzkich poza aglomeracjami ma charakter niedoszacowania, co stanowi pewną odwrotność wniosków wynikających z modelu bazowego.

Z kolei na tych obszarach, gdzie koncentracja wyróżnionych atrakcji jest niewielka w relacji do potencjału demograficznego (gęstość ludności), w procesie modelowania należałoby znaleźć **dotychczasowe atrakcje na poziomie lokalnym**, które stają się „prawdziwymi” celami podróży na obszarach wiejskich. Ludność na obszarach peryferyjnych okazała się bardziej mobilna, niż wynikałoby to z rozkładu wyróżnionych atrakcji. Prowadzi to do wniosku, że istnieją „atrakcje” nie ujęte w modelowaniu lub też takie, które umykają statystyce bazowej.

Do powyższych obserwacji dochodzą czynniki związane z procesem tworzenia się sieci drogowej (proces ten był szczególnie intensywny w 2010 roku). Występujące na wielu odcinkach remonty i modernizacje mogły skutkować chęcią poszukiwania przez kierowców alternatywnych tras obwodowych. Ponadto niektóre odcinki autostrad i dróg ekspresowych były „ślepe”, tzn. brakowało efektu sieciowości. Wszystkie wyżej wymienione czynniki sieciowe mają charakter przejściowy i po okresie modernizacji sieci można oczekiwać „łatwiejszego” modelowania i większego dopasowania modelu do rzeczywistego rozkładu ruchu.

Zdaniem autorów kluczowe jest wykonanie kompleksowego modelowania ruchu samochodów osobowych **po 2020 roku** (a może nawet po 2023, gdy będą kończone największe inwestycje współfinansowane ze środków unijnych), gdy zakończy się efekt wpływu toczących się inwestycji infrastrukturalnych na najkrótsze ścieżki podróży i powstanie (prawie) docelowy układ sieci dróg szybkiego ruchu w Polsce.

Generalnie na poziomie krajowym należy spodziewać się:

- dalszej koncentracji ruchu na autostradach i drogach ekspresowych, pewnej stabilności w podziale modalnym (a w długim okresie być może odwrócenia niekorzystnego trendu dominacji samochodu prywatnego);
- dalszego zwiększenia ruchu w aglomeracjach i na głównych ciągach prowadzących do największych miast, których promień oddziaływania w codziennych podróżach będzie rósł, przede wszystkim w wyniku procesu suburbanizacji;
- spadku ruchu na depopulacyjnych obszarach peryferyjnych;
- dalszego wzrostu znaczenia ruchu międzynarodowego.

Równocześnie należy obserwować trendy w zakresie kształtowania się podstawowych zmiennych warunkujących ruch w wybranych motywacjach podróży. Do trendów tych należą m.in.:

- wydłużanie się dojazdów do pracy (model COM), przede wszystkim na obszarze aglomeracji, co przy poprawiającym się stanie infrastruktury dojazdowej będzie w dużym stopniu warunkować dalsze wzrosty ruchu (o ostatecznym wzroście decydować będzie również konkurencyjność transportu publicznego) (por. też [13, 14]);
- dalsze migracje krajowe, przede wszystkim do stolicy i innych największych ośrodków, które mogą skutkować zwiększonym popytem na przejazdy w motywacji odwiedzin krewnych i znajomych (model VFR);
- gwałtowne zmniejszanie się liczby ludności w wieku 19–24 (wiek uczęszczania do szkoły wyższej), przy jednoczesnym spadku liczby starszych roczników z wyżu demograficznego potrzebujących doksztalcenia, co będzie skutkowało spadkiem znaczenia dojazdów w motywacji dojazdu do szkoły wyższej (model EDU) (por. też [12]);
- coraz większa rola handlu przez internet, zwiększenie możliwości wykonywania zakupów w galeriach handlowych w miastach powiatowych, a nawet gminnych i mniejszych, co będzie skutkowało zmniejszeniem roli motywacji podróży dojazdów na zakupy (model CH); można natomiast spodziewać się wzrostu udziału kurierów w ruchu (poruszających się głównie samochodami dostawczymi);
- trudności w oszacowaniu podróży biznesowych; z jednej strony rosnąca rola przedstawicieli handlowych i bezpośrednich relacji z klientami, a z drugiej – w coraz większym stopniu cięcie kosztów związanych z tzw. imprezami firmowymi oraz rosnąca rola telekonferencji ograniczających potrzebę podróżowania w motywacji podróże biznesowe (BIZ);
- swoistego rodzaju moda na krajowe podróże turystyczne, przede wszystkim nad morze, w góry oraz nad jeziora, a z drugiej strony wzrost zamożności i możliwości podróżowania za granicę; te przeciwstawne trendy, będą mieć duże znaczenie w ocenie roli i oporu przestrzeni w podróżach turystycznych (model TUR).

Zaproponowana metodologia może być w przyszłości podstawą ustalenia zasad prognozowania ruchu na sieci drogowej całego kraju (na podstawie obserwacji specyficznych uwarunkowań regionalnych), również z wykorzystaniem doświadczeń z innych opracowań i badań, np. [15]. Znajomość uwarunkowań regionalnych i lokalnych to szansa na terytorializację polityki transportowej (np. jako element zintegrowanych programów rozwojowych – ZPR – proponowanych w Strategii Odpowiedzialnego Rozwoju).

Literatura

1. *Krajowy model ruchu*, Politechnika Warszawska, opracowany w oparciu o Generalny Pomiar Ruchu 2005, Warszawa 2007.
2. Generalny Pomiar Ruchu, 2005, 2010, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad.
3. Cascetta E., Pagliara F., Papola A., *Alternative approaches to trip distribution modelling: a retrospective review and suggestions for combining different approaches*, Papers in regional Science 86.4, 2007.
4. Wang S. et al., *Transit trip distribution model considering land use differences between catchment areas*, "Journal of Advanced Transportation", no 50.8, 2016.
5. Rosik P., Śleszyński P., *Wpływ zaludnienia w otoczeniu drogi, ukształtowania powierzchni terenu oraz natężenia ruchu na średnią prędkość jazdy samochodem osobowym*, „Transport Miejski i Regionalny”, 2009, nr 10.
6. Komornicki T., Śleszyński P., Rosik P., Pomianowski W., *Dostępność przestrzenna jako przesłanka kształtowania polskiej polityki transportowej*, Biuletyn KPZK PAN, 241, Warszawa 2010.
7. Rosik P., *Dostępność lądowa przestrzeni Polski w wymiarze europejskim*, Prace geograficzne, 231, IGIŻ PAN, Warszawa 2012.
8. Więkowski M., Michniak D., Bednarek-Szczyńska M., Chrenka B., Ira V., Komornicki T., Rosik P., Stępnik M., Szekely V., Śleszyński P., Świątek D., Wiśniewski R., *Road accessibility to tourist destinations of the Polish-Slovak borderland: 2010–2030 prediction and planning*, Geographia Polonica, 2012, nr 87(1).
9. Śleszyński P., *A geomorphometric analysis of Poland on the basis of SRTM-3 data*, Geographia Polonica, 2012, nr 85(4).
10. Śleszyński P., *Expected traffic speed in Poland using Corine land cover, SRTM-3 and detailed population places data*, Journal of Maps, 2015, nr 11(2).
11. Badanie pilotażowe zachowań komunikacyjnych ludności w Polsce, Etap III – raport końcowy, Praca badawcza w ramach projektu „Wsparcie systemu monitorowania polityki spójności w perspektywie finansowej 2007–2013 oraz programowania i monitorowania polityki spójności w perspektywie finansowej 2014–2020”, GUS w Warszawie i Centrum Badań i Edukacji Statystycznej GUS w Jachrance, 2015.
12. Brzuchowska J., Sławski J., *Analiza rozkładów przestrzennych podróży „dom-szkoła” we Wrocławiu*, Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały konferencyjne, 2012, nr 1(97).
13. Głogowski Ch., Zipser T., *Formy i charakterystyki parametrów splotowego modelu pośrednich możliwości dla ruchów do pracy w dużych aglomeracjach*. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie, Seria: Materiały konferencyjne, 2012, nr 1 (97).
14. Rosik P., Stępnik M., Wiśniewski R., *Dojazdy do pracy do Warszawy i Białegostoku – alternatywne podejścia metodologiczne*, Studia Regionalne i Lokalne, 2010, nr 2(40).
15. Kulpa T., Szarata A., *Development of the Transport Model for the Masovian Voivodeship*. In: *Contemporary Challenges of Transport Systems and Traffic Engineering*, Lecture Notes in Networks and Systems, Springer, Heidelberg, 2017, nr 2.