

ZAŁOŻENIA METODYCZNE MODELOWANIA RUCHU POJAZDÓW OSOBOWYCH NA ODCINKACH DRÓG KRAJOWYCH I WOJEWÓDZKICH PRZEKRACZAJĄCYCH GRANICE POWIATÓW W POLSCE (PROJEKT KOMAR)¹

Piotr Rosik

dr, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa, tel.: +48 22 697 8928, e-mail: rosik@twarda.pan.pl

Andrzej Szarata

dr hab. inż., Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, tel. +48 12 628 3084, e-mail: aszarata@pk.edu.pl

Tomasz Komornicki

prof. dr hab., Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa, tel.: +48 22 697 8920, e-mail: t.komorn@twarda.pan.pl

Marcin Stępnik

dr, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa, tel.: +48 22 697 8949, e-mail: stepniak@twarda.pan.pl

Streszczenie. *Celem artykułu jest prezentacja założeń metodycznych oraz wstępnych rezultatów modelowania ruchu pojazdów osobowych na odcinkach dróg krajowych i wojewódzkich przekraczających granice powiatów w Polsce w ramach projektu: „Kompleksowe modelowanie osobowego ruchu drogowego w Polsce wraz z identyfikacją jego lokalnych uwarunkowań społeczno-ekonomicznych (KoMaR)”. Zaprezentowano podobieństwa i różnice między Krajowym Modelem Ruchu {3}, a założeniami modelowymi w projekcie KoMaR. Założenia w projekcie bazują przede wszystkim na przeglądzie kompleksowych badań ruchu przeprowadzonych w ostatnich latach w Polsce na poziomie regionalnym oraz aglomeracyjnym. Zakłada się uwzględnienie również innych baz danych, w tym macierzy międzygminnych dojazdów do pracy oraz migracji na poziomie krajowym. W artykule przedstawiono wstępne wyniki rozkładu ruchu dla podróży krótkich oraz długich, z uwzględnieniem podróży zewnętrznych, po porównaniu wyników modelowych z Generalnym Pomiarem Ruchu z 2010 r. Głównym rezultatem projektu jest wydzielenie obszarów kraju na poziomie powiatowym, dla których lokalne uwarunkowania społeczno-ekonomiczne decydują o odmiennym od typowego dla Polski rozkładu ruchu.*

Słowa kluczowe: *modelowanie ruchu, sieć dróg krajowych i wojewódzkich, lokalne uwarunkowania społeczno-ekonomiczne*

1. Wprowadzenie

Celem niniejszego artykułu jest prezentacja założeń metodycznych oraz wstępnych rezultatów pierwszej fazy projektu NCN „Kompleksowe modelowanie osobowego ruchu drogowego w Polsce wraz z identyfikacją jego lokalnych uwarunkowań społeczno-ekonomicznych (akronim projektu – KoMaR)”. Dzięki współpracy

¹ Wkład autorów w publikację: Rosik P. 55%, Szarata A. 35%, Komornicki T. 5%, Stępnik M. 5%

w projekcie geografów (Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN) oraz planistów transportu (Politechnika Krakowska), przygotowywany model ruchu uwzględnia analizę z wykorzystaniem nie tylko tradycyjnego modelu grawitacji [1,2], ale również wielu innych danych dotyczących lokalnych społeczno-ekonomicznych uwarunkowań, których znaczenie dla prognozowania ruchu na sieci często jest pomijane w badaniach prowadzonych przez inżynierów ruchu.

Głównym celem projektu o charakterze poznawczym i metodycznym jest wydzielenie obszarów kraju na poziomie powiatowym dla których lokalne uwarunkowania społeczno-ekonomiczne decydują o odmiennym od przeciętnego dla Polski (obliczonego w projekcie rozkładu ruchu na sieci zamiejskich dróg krajowych i wojewódzkich).

Modelowanie ruchu na poziomie krajowym w Polsce jak dotąd polegało na danych o ruchu zebranych na kilkudziesięciu tzw. punktach kontrolnych na sieci dróg krajowych w ramach tzw. Krajowego Modelu Ruchu opracowanego przez Politechnikę Warszawską na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad, w którym uwarunkowania lokalne i relacyjne rozwiązano za pomocą wprowadzenia procedury „zwiększającej opór przestrzeni na relacjach, w których wyniki uzyskiwane z modelu ruchu były większe niż wyniki pomiaru oraz w zmniejszającej opór przestrzeni na relacjach [...], kiedy wyniki uzyskiwane w modelu ruchu były niższe niż wyniki pomiarów” [3].

W projekcie KoMaR zakłada się, że czynniki mające wpływ na odmienne zachowania uczestników ruchu zostaną zidentyfikowane na podstawie przeprowadzonej na poziomie powiatowym analizy czynników determinujących poziom motoryzacji, a przede wszystkim czynników determinujących potencjały ruchotwórcze, czyli rzeczywiste wykorzystanie samochodu osobowego. Charakterystyka lokalnych rynków pracy (w tym ich atrakcyjność), macierz dojazdów do pracy [18], macierz wymeldowań i zameldowań [19], a także takie czynniki jak m.in. lokalizacja centrów handlowych, będą kluczowe dla właściwego wyznaczenia tzw. funkcji oporu przestrzeni oraz potencjałów ruchotwórczych. Ocena potencjałów pozwoli na skonstruowanie typologii powiatów, pod kątem różnic w mobilności ich mieszkańców.

2. Przegląd literatury

Literatura przedmiotu z dziedziny geografii transportu oraz socjologii transportu, poświęcona lokalnym uwarunkowaniom determinującym posiadanie samochodu (*car ownership*) oraz wykorzystaniu samochodu (*car use*) jest bardzo bogata. W kontekście potencjalnego zidentyfikowania tych czynników należy, przy czynnikach determinujących poziom motoryzacji (posiadanie samochodu; *car ownership*) uwzględnić:

- posiadanie uprawnień do kierowania samochodem (prawo jazdy), determinowane szeregiem czynników społeczno-ekonomicznych [4];

- przeciętny dochód gospodarstwa domowego, w tym elastyczność dochodową popytu w kontekście skłonności do zakupu samochodu prywatnego;
- struktura demograficzna (tj. wiek, płeć, wykształcenie itd.) oraz zmienna w czasie wielkość gospodarstw domowych;
- prestiż i pozycja społeczna określana przez posiadanie samochodu, szczególnie w krajach charakteryzujących się niższym przeciętnym dochodem [5,6];
- styl życia i stosunek do posiadania samochodu [7]; przykładowo młodzi ludzie w krajach zachodnich są bardziej skłonni do rezygnacji z posiadania samochodu niż ich rówieśnicy parę dekad temu [8];
- gęstość sieci osadniczej, im gęstsza sieć osadnicza tym generalnie niższy poziom motoryzacji [4].

Z kolei czynniki determinujące **potencjał ruchotwórczy** (rzeczywiste wykorzystanie samochodu; *car use*) można podzielić na te związane z gospodarstwem domowym (komponent indywidualny), strukturą przestrzenną (komponent użytkowania przestrzeni) oraz z siecią transportową (komponent transportowy).

Czynniki związane z **gospodarstwem domowym** (*individual*):

- wskaźnik motoryzacji; dostęp do samochodu jest czynnikiem koniecznym choć niewystarczającym do jego rzeczywistego wykorzystania [9];
- przeciętny dochód gospodarstwa domowego, w tym elastyczność dochodowa popytu w kontekście skłonności do zakupu paliwa oraz odbycia podróży (czynnik ważniejszy w dużych miastach niż w miastach mniejszych i ośrodkach wiejskich, gdzie samochód jest często jedynym możliwym środkiem transportu [10]; wskazuje się również na potrzebę uwzględnienia regionalnych różnicowań w zakresie kosztów życia [4];
- koszty eksploatacji samochodu (w tym przede wszystkim koszty paliwa, ale również utrzymania, ubezpieczenia oraz napraw) [4]; zakłada się, że w regionach w których struktura parku samochodowego jest szczególnie stara, koszty napraw są również wysokie, co może skutkować mniejszą skłonnością do odbywania podróży;
- struktura demograficzna, w tym wielkość i struktura gospodarstw domowych (przede wszystkim wiek, płeć, liczba osób w wieku produkcyjnym, udział małżeństw posiadających dzieci oraz liczba dzieci, poziom wykształcenia oraz status społeczny) [10,4,11]; przykładowo zakłada się, że im więcej rodzin z dziećmi na danym obszarze (wyższy współczynnik dzietności) tym wyższe wykorzystanie samochodu [11,12].

Czynniki związane ze **strukturą funkcjonalną** (*land-use*):

- dostępność transportowa [13]; w sensie lokalizacji miejsca zamieszkania (produkcja) względem zbioru celów podróży (atrakcji) [14]; uzasadnienie wykorzystania wskaźnika – przy niskiej dostępności do miejsc pracy oraz usług, np. na obszarach wiejskich zachodzi potrzeba wykorzystywania własnego samochodu; z kolei przy dużej gęstości zaludnienia i występowaniu kongestii oraz lepszej jakości transportu publicznego, potrzeba wykorzystania własnego samochodu jest relatywnie niższa);

- skłonność do dojeżdżania do pracy na dłuższe dystanse oraz lokalizacja miejsc pracy względem miejsc zamieszkania i ich atrakcyjność [11,15];
- atrakcyjność miejsca zamieszkania, w tym posiadanie własnego domu [16, 11].

Czynniki związane z siecią transportową (*transport*):

- sposób zarządzania siecią transportową [13]; przykładowo powiat lub gmina o rozwiniętej sieci ścieżek rowerowych i chodników może być uważany za obszar, w którym mieszkańcy są bardziej skłonni wykonywać podróże piesze i rowerowe; z kolei w miastach o dobrej dostępności miejsc parkingowych zwiększa się skłonność do wykorzystania samochodu;
- jakość transportu publicznego [13,10]; czynnik szczególnie istotny na obszarach metropolitalnych lub w kontekście podróży międzyaglomeracyjnych ograniczający korzystanie z własnego samochodu.

Determinanty podziału modalnego w literaturze przedmiotu opisują tzw. **modele wyboru środka transportu** według których uczestnicy ruchu są racjonalni i dokonują wyborów w oparciu o maksymalizację użyteczności. Można wyodrębnić trzy grupy **zmiennych warunkujących wybór środka transportu** (sytuacja związana z podróżą, cechy społeczno-ekonomiczne uczestnika ruchu oraz uwarunkowania przestrzenne i systemowe [23,24]. Jakość wewnątrzregionalnego systemu transportu publicznego oraz jakość połączeń międzyaglomeracyjnych, może być uważana za jedną z głównych determinant wyboru środka transportu (z zakresu uwarunkowań przestrzennych i systemowych) - tab. 1.

Tabela 1. Determinanty wyboru środka transportu w podróżach długich

Atrybuty podróży	Cechy społeczno-ekonomiczne podróżnego	Uwarunkowania przestrzenne i systemowe
1. Uogólniony koszt podróży: – czas podróży: * czas spędzony w pojeździe, * czas dojazdu/odejścia, * czas na przesiadkę, – koszt podróży: * koszty parkingowe, * koszty paliwa, * opłaty autostradowe, * pozostałe koszty stałe, – pozostałe elementy uogólnionego kosztu: * bezpieczeństwo, * komfort, * inne. 2. Motywacja podróży: – dojazdy do pracy – podróże biznesowe, – podróże turystyczne, – wizyty znajomych i krewnych. 3. Pora dnia/roku (np. godziny szczytu, koniec długiego weekendu, sezonu wakacyjnego itd.) 4. Wielkość zabieranego bagażu 5. Liczba osób podróżujących razem 6. Warunki pogodowe (atmosferyczne)	1. Dochód 2. Wykształcenie 3. Płeć 4. Wiek 5. Struktura gospodarstwa domowego (np. liczba osób pracujących, liczba dzieci poniżej 12 lat, itd.) 6. Dostępność samochodu 7. Posiadanie prawa jazdy 8. Posiadanie preferencyjnych przejazdów (np. zniżkowych biletów) 9. Przyzwyczajenia, nawyki, potrzeby, doświadczenia związane z podróżowaniem (np. potrzeba pracy w czasie podróży)	1. Zróżnicowanie użytkowania przestrzeni: – gęstość ludności/zabudowy (tereny miejskie, podmiejskie, wiejskie), – rozmieszczenie miejsc pracy, usług, terenów rekreacyjnych, – dostępność miejsc parkingowych. 2. Zróżnicowanie infrastruktury punktowej i liniowej transportu (w tym bliskość/dostępność źródła i celu podróży do najbliższej stacji/przystanku i jej/jego charakter/przepustowość/zdolność przewozowa) 3. Jakość systemu transportu publicznego: – jakość taboru, – częstotliwość kursowania, – bezpośredniość (możliwość wykonania podróży bez przesiadki) – wysokość ceny, – bezpieczeństwo, – komfort, – planowość, – niezawodność, – elastyczność.

Zródło: opracowanie własne

3. Metoda badawcza

W ramach projektu KoMaR zakłada się położenie nacisku na analizę danych wtórnych w postaci zarówno baz danych na poziomie krajowym (przede wszystkim macierzy dojazdów do pracy [18] oraz macierzy migracji [19]), jak i kompleksowych badań ruchu na poziomie regionalnym i aglomeracyjnym (z oczywistych względów źródłem danych będzie również Krajowy Model Ruchu [3]). Planuje się także rozszerzenie (w stosunku do Krajowego Modelu Ruchu [3]) listy motywacji podróży do sześciu, w tym zgromadzenie danych dotyczących produkcji i absorpcji ruchu dla wszystkich motywacji. Założeniem wykonawców jest również uwzględnienie podziału modalnego dzięki wykorzystaniu baz danych dostępnych w IGiPZ PAN (tab. 2).

Procedura badawcza w modelu KoMaR przewiduje realizację szeregu eksperymentów mających na celu doprowadzenie do możliwie najlepiej dopasowanego modelu względem Generalnego Pomiaru Ruchu 2010 [17]. Listę eksperymentów (tab. 3) otwiera eksperyment bazowy, którego wyniki wstępne zostały zaprezentowane w kolejnym podrozdziale artykułu.

Tabela 2. Podobieństwa i różnice między założeniami modelowymi w projekcie KoMaR a Krajowym Modelem Ruchu

		<i>Założenia w projekcie KoMaR</i>	<i>Krajowy Model Ruchu [3]</i>
Założenia podstawowe: charakter ruchu, predkości, rejon komunikacyjny	Charakter badanego ruchu	Wyłącznie ruch pojazdów osobowych	Ruch całkowity , tzn. ruch pojazdów osobowych i ciężarowych
	Predkości na sieci / typy odcinków	13 typów odcinków według kategorii drogi oraz szerokości jezdni; 3 zmienne warunkujące prędkość (liczba ludności w buforze odcinka, obszar zabudowany, ukształtowanie terenu); wykorzystanie funkcji s-kształtnych dla redukcji prędkości dla ponad dziesięciu tysięcy odcinków [14]	49 typów odcinków według typu drogi przekroju poprzecznego, obszaru występowania
	Rejony komunikacyjne w Polsce	335 rejonów komunikacyjnych na poziomie powiatowym; planowane rozszerzenie liczby rejonów komunikacyjnych na obszarach, dla których wyniki uzyskane z modelu będą znacząco większe/mniejsze niż GPR2010	335 rejonów komunikacyjnych na poziomie powiatowym
	Rejony komunikacyjne zewnętrzne	Ruch pojazdów osobowych na 62 przejściach granicznych	Ruch całkowity na 89 przejściach granicznych
Punkt odniesienia (kalibracja modelu)	Podstawa do kalibracji modelu	GPR2010 [17]	GPR2005
	Stopień szczegółowości kalibracji	Kalibracja na 1877 odcinkach pełnej sieci zamiejskich dróg krajowych (855 odcinków) i wojewódzkich (1022 odcinków) przecinających granicę powiatu	Kalibracja tylko dla dróg krajowych: – kalibracja na kordonie Polski, – kalibracja na 3 ekranach północ-południe oraz 3 ekranach wschód-zachód, – kalibracja na 6848 odcinkach sieci

Ruch wewnętrzny (krajowy) - założenia	Motywacje podróży w ruchu osobowym krajowym	Sześć planowanych motywacji podróży : – dojazdy do pracy (COM), – podróże biznesowe (BIZ), – odwiedziny znajomych i krewnych (VFR), – wyjazdy turystyczne (TUR), – wyjazdy do centrów handlowych (CH), – wyjazdy do szkoły i na uczelnię (EDU)	Cztery motywacje podróży : – dom-praca, – biznes, – turystyka, – inne
	Źródło danych o udziale w ruchu, średniej długości podróży i średnim napelnieniu pojazdu według motywacji	Potencjalne źródła danych: – COM → Przepływy ludności związane z zatrudnieniem [18], – VFR → Międzygminna macierz wymeldowań i zameldowań [19], – TUR → Instytut Turystyki – COM, CH, EDU → Kilkanaście badań ruchu na poziomie regionalnym i aglomeracyjnym z lat 2006-2014	Ankiety w 23 punktach kontrolnych na drogach wewnątrz kraju + dodatkowe pomiary dla korytarzy autostrad A1 (29 punktów; 2006 r.) i A2 (12 punktów; 2004 r.)
	Produkcja ruchu	Potencjalne źródła danych: – COM → Liczba ludności w wieku produkcyjnym – BIZ → Liczba ludności w wieku produkcyjnym / Liczba podmiotów wpisanych do rejestru REGON – VFR → Liczba ludności / Liczba wymeldowań – TUR → Liczba ludności – CH → Liczba ludności – EDU → Liczba ludności w wieku 15-19 / Liczba ludności w wieku 20-24 – COM → Liczba miejsc pracy według innego podziału niż PKD (planowane rozszacowanie liczby miejsc pracy na poziomie powiatowym lub gminnym)	– dom-praca → Liczba samochodów osobowych – biznes → Liczba zarejestrowanych firm – turystyka → Liczba samochodów osobowych – inne → Liczba samochodów osobowych
	Absorpcja ruchu	Potencjalne źródła danych: – BIZ → Liczba podmiotów wpisanych do rejestru REGON – VFR → Liczba ludności / Liczba zameldowań – TUR → Liczba miejsc noclegowych – CH → Liczba centrów handlowych / Powierzchnia centrów handlowych – EDU → Liczba uczniów w liceach / Liczba studentów	– dom-praca → Liczba zarejestrowanych firm – biznes → Liczba zarejestrowanych firm – turystyka → Liczba miejsc noclegowych – inne → Liczba samochodów osobowych
	Podział modalny	Uwzględnienie podziału modalnego . Źródła danych: równoległe przygotowywana baza połączeń w transporcie autobusowym, minibusowym (poziom międzypowiatowy) oraz istniejąca w IGiPZ PAN baza TRRAPAS XXI (w tym kartograficzne odwzorowanie liczby pociągów wg kategorii na sieci zarządzanej przez PKP PLK w 2010 r. [20] oraz liczba kolejowych połączeń międzyaglomeracyjnych w 2010 r. wg systemu HAFAS [21])	Brak odniesień
	Ruch zewnętrzny	Motywacje podróży w ruchu osobowym zagranicznym	Trzy planowane motywacje podróży: – wyjazdy na zakupy (CH) – szczególnie istotne na granicy wschodniej [22], – dojazdy do pracy (COM), – wyjazdy turystyczne (TUR).
Źródło danych o udziale w ruchu, średniej długości podróży i napelnieniu pojazdu według motywacji		Dla granicy wschodniej coroczne badania GUS [22] oraz dane Komendy Głównej Straży Granicznej Dla pozostałych odcinków granic – m.in. Krajowy Model Ruchu [3]	Ankiety w 36 punktach na przejściach granicznych

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem [3].

Tabela 3. Procedura badawcza (eksperymenty) w modelu KoMaR

Lp.	Nazwa eksperymentu	Założenia eksperymentu
1	Bazowy	Liczba ludności jako czynnik wpływu pozwalający wygenerować poziom produkcji i atrakcji (w odniesieniu do podróży); potęgowo - wykładnicza funkcja oporu przestrzeni dla podróży krótkich i długich [25]
2	Bazowy zewnętrzny	Jak w „Bazowy” + uwzględnienie ruchu zewnętrznego
3	Motywacyjny – eksperyment kluczowy	Wprowadzenie do modelu sześciu motywacji podróży w kilku wariantach: - niezależne eksperymenty na każdej z motywacji (funkcja oporu przestrzeni, produkcja i absorpcja ruchu – wybór różnych), - eksperymenty na kilku wybranych, - eksperymenty dla wszystkich motywacji z różnym udziałem poszczególnych motywacji w ruchu.
4	Zewnętrzny motywacyjny	Wprowadzenie trzech motywacji dla ruchu zewnętrznego wraz z ewentualnym uwzględnieniem tranzytu
5	Podziału modalnego	Wybór podziału modalnego w kontekście przestrzennym (regionalnym) i relacyjnym (podróże międzyaglomeracyjne)
6	Kosztu podróży	Wprowadzenie opłat autostradowych jako elementu uogólnionego kosztu podróży
7	Lokalnych uwarunkowań	Podział rejonów komunikacyjnych na gminy na wybranych obszarach, dla których model szczególnie „odstaje” od GPR2010 [17]

4. Wstępne rezultaty badania – eksperyment bazowy

W ramach prowadzonych prac podjęto próbę budowy modelu symulacyjnego na poziomie krajowym. Należy zaznaczyć, iż budowany model ma charakter testowy, służy wyłącznie do badania różnych scenariuszy teoretycznych i na tym etapie prac, przyjęto wiele założeń upraszczających i uogólniających proces modelowania podróży.

Pierwszy etap prac to budowa i weryfikacja modelu jako „eksperymentu bazowego” (wg tab. 4). W tym celu dokonano importu bazy danych o układzie drogowym (stan na 2010 rok, zgodny z wynikami GPR 2010). Wstępnie przyjęto, że model będzie się odnosił do jednej godziny, umownie nazwanej „godziną szczytu”, dla której przyjęto 7% udział w okresie doby. Wobec tego założenia można było sparametryzować sieć drogową, przyjmując następujące kategorie (posiłowano się tutaj modelem krajowym [3]).

Tabela 4. Charakterystyka sieci drogowej przyjętej w procesie modelowania

L.p.	Typ	Przyjęte parametry sieci drogowej		
		Szerokość drogi [m]	Wstępnie szacowana przepustowość [poj./h/kierunek]	Wstępnie szacowana prędkość w ruchu swobodnym [km/h]
1	Autostrada	*	2800	130
2	Ekspresowa dwujezdniowa	*	2600	120
3	Ekspresowa jednojezdniowa	*	2000	95
4	Krajowa dwujezdniowa	*	2500	110
5	Wojewódzka dwujezdniowa	*	1800	100
6	Krajowa <i>a</i>	> 9,5 m	1350	92

7	Krajowa <i>b</i>	7,5-9,5 m	1300	90
8	Krajowa <i>c</i>	6,5-7,5 m	1250	81
9	Krajowa <i>d</i>	< 6,5 m	1000	73
10	Wojewódzka <i>a</i>	> 7,5 m	1300	87
11	Wojewódzka <i>b</i>	6,5-7,5 m	1200	80
12	Wojewódzka <i>c</i>	5,5-6,5 m	1000	75
13	Wojewódzka <i>d</i>	< 5,5 m	800	70
14	Pozostałe zamiejskie	*	900	65

Przyjęta charakterystyka sieci drogowej jest wstępna i ma za zadanie jedynie przygotować i zweryfikować model sieci do dalszych prac badawczych. Kolejnym elementem modelu jest podział na rejon komunikacyjny. W niniejszym podejściu przyjęto, iż rejon będzie utożsamiony z powiatem. Oczywiście taki podział powoduje dość duży poziom agregacji danych i znaczne uproszczenie modelowanego obszaru. Aby dokonać szczegółowej analizy, uwzględniającej lokalną specyfikę i uwarunkowania, przyjęto, że w miarę potrzeb model zostanie udoskonalony na obszarze wybranych powiatów poprzez wycięcie żądanego obszaru i jego uszczegółowienie (np. poprzez dezagregację rejonów do poziomu gminy).

Warstwę sieci drogowej utworzonej i corocznie aktualizowanej w IGiPZ PAN połączono z rejonami poprzez przyjęcie pojedynczego konektora, łączącego centroidę powiatu (umownie przyjęty środek ciężkości zagospodarowania przestrzennego) z najbliższym węzłem.

Kolejny etap to budowa modelu popytu. W eksperymencie bazowym skupiono się na próbie odwzorowania podróży międzyrejonowych, opartej na liczbie mieszkańców w powiatach (baza danych GUS, stan z 2010 r.). Przy tworzeniu więźby ruchu, w proponowanym podejściu wykorzystano więźbę istniejącą, skalibrowaną dla potrzeb modelu krajowego. W opracowanej więźbie ruchu uwzględniono relacje międzyrejonowe występujące w więźbie z modelu krajowego i w tym celu zdecydowano się zastosować uproszczoną metodę Fratara (zwaną metodą Detroit), uzależniającą wielkości relacji między rejonami od wartości wskaźnika wzrostu potencjału. Podejście takie powoduje utrzymanie zależności międzyrejonowych (udział podróży krótkich i długich). Według tej metody, wielkość potoku pojazdów P_{ij} między rejonami „*i*” oraz „*j*”, będzie określona formułą [26]:

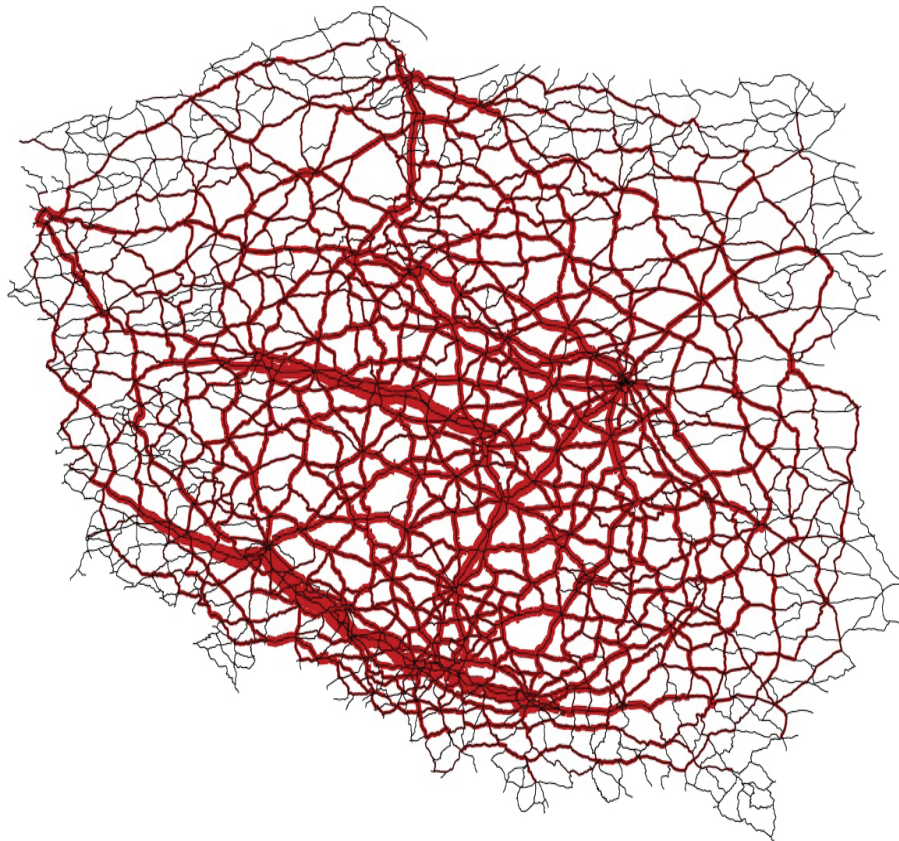
$$P'_{ij} = P_{ij} \cdot \frac{w_{Gi} \cdot w_{Aj}}{w_{\text{sr}}} \quad (1)$$

gdzie:

- P_{ij} – element więźby w ruchu wyjściowym – więźba historyczna [poj./d],
- w_{Gi} – współczynnik zmian potencjału wytwarzającego ruch rejonu *i*-tego,
- w_{Aj} – współczynnik zmian potencjału absorbującego ruch rejonu *j*-tego,
- w_{sr} – średni współczynnik wzrostu potencjału ruchu dla całego powiatu.

W wyniku prowadzonych analiz, uzyskano wyniki rozkładu ruchu, których jakość została oceniona poprzez porównanie wyników symulacji z pomiarami

GPR 2010 (porównano jedynie natężenie ruchu wyrażone w samochodach osobowych i do porównania wykorzystano punkty pomiarowe położone na granicach powiatów). Jest to oczywiście uproszczenie, lecz uwzględniając testowy charakter budowanej sieci, w zupełności uzasadnione. Osiągnięty współczynnik determinacji na poziomie $R^2=0,63$ potwierdza kierunek prowadzonych analiz. Na rys. 1 przedstawiono wyniki rozkładu ruchu w sieci krajowej.



Rys. 1. Wyniki rozkładu ruchu w sieci krajowej – stan na 2010 r. {sam.osob/godz.}

Podsumowanie

Zaproponowana metodyka może pozwolić w przyszłości na ustalenie zasad prognoz ruchu na sieci drogowej dla całego kraju na podstawie obserwacji specyficznych uwarunkowań regionalnych. Uwarunkowania te wynikają z kształtowania się czynników determinujących poziom motoryzacji oraz potencjałów ruchotwórczych, a także specyfiki sieci drogowej oraz sieci transportu publicznego na danym obszarze. Opracowana typologia obszarów (powiatów) może stać się podstawą dla

podejmowania w przyszłości reprezentatywnych badań odnośnie mobilności codziennej i fakultatywnej mieszkańców Polski.

Należy jednak zaznaczyć, że w warunkach wciąż wysokiego wzrostu ruchu, a także równoczesnych inwestycji na sieci drogowej i kolejowej, zarówno potencjały ruchotwórcze jak i funkcje oporu przestrzeni w poszczególnych motywacjach mogą ulec dużej zmianie w latach 2010-2015. Takie czynniki jak: upowszechnienie się zakupów przez internet (motywacja CH), zmiany demograficzne (motywacja EDU), zmiany środków transportu w podróżach turystycznych na korzyść międzynarodowych podróży transportem lotniczym (motywacja TUR) mogą skutkować znacznymi zmianami również w udziale poszczególnych motywacji podróży w ruchu pojazdów osobowych przekraczających granicę powiatu. Z drugiej strony użycie środków transportu będą uwarunkowane dalszym procesem inwestycyjnym zarówno na sieci drogowej, jak też w transporcie kolejowym.

Prowadzone analizy symulacyjne ukierunkowano na tym etapie na budowę modelu sieciowego i powiązanie go z dostępną bazą danych. Osiągnięte wyniki analiz wykazują na konieczność uzupełniania bazy danych (model grawitacyjny, opór odcinków sieci, generacja ruchu), lecz uzyskane wyniki można uznać za obiecujące. Należy podkreślić dużą rolę narzędzia symulacyjnego jakim jest program Visum i niemalże nieograniczone możliwości testowania różnych scenariuszy.

Artykuł został napisany na bazie projektu pt: „Kompleksowe modelowanie osobowego ruchu drogowego w Polsce wraz z identyfikacją jego lokalnych uwarunkowań społeczno-ekonomicznych”. Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji numer DEC-2012/05/B/HS4/04147.

Bibliografia

- [1] Szarata A., Kalibracja i możliwości weryfikacji wyników Kompleksowych Badań Ruchu narzędziami symulacyjnymi. Kompleksowe badania ruchu - teoria i praktyka - doświadczenia miast polskich; Zeszyty naukowo-techniczne, SITK RP Oddział w Krakowie; Materiały konferencyjne, 93, 152, Kraków, s. 193-204, 2010.
- [2] Cascetta E., Traffic assignment: O-D estimation from traffic counts. Handouts of Course on Advanced Modeling and Simulation of Transportation Networks, Sorrento, 2010.
- [3] Studium układu dróg szybkiego ruchu w Polsce, układ kierunkowy horyzont 2025 rok, wraz z analizą podziału funkcjonalnego całej sieci drogowej Polski - udostępnienie jednolitych danych wejściowych do prognoz ruchu, Politechnika Warszawska, 2007.
- [4] Whelan G., Modelling car ownership in Great Britain. Transportation Research Part A, 41, s. 205-219, 2007.

- [5] Komornicki T., Factors of development of car ownership in Poland. *Transport Reviews*, 23, 4, Taylor and Francis, London, s. 413-432, 2003.
- [6] Komornicki T., Przemiany mobilności codziennej Polaków na tle rozwoju motoryzacji. *Prace Geograficzne*, 227, IGiPZ PAN, Warszawa, s. 144, 2011.
- [7] Choo S., Mokhtarian P., What type of vehicle do people drive? The role of attitude and lifestyle in influencing vehicle type choice. *Transportation Research – Part A*, 38, s. 201-222, 2004.
- [8] Frändberg L., Vilhelmson B., More or less travel: personal mobility trends in the Swedish population focusing gender and cohort. *Journal of Transport Geography*, 19, s. 1235-1244, 2011.
- [9] De Jong G.C., An indirect utility model of car ownership and private car use. *European Economic Review*, 34, s. 971-985, 1990.
- [10] Matas A., Raymond J.-L., Changes in the structure of car ownership in Spain. *Transportation Research, Part A*, 42, s. 187-202, 2008.
- [11] Ewert U.C., Prskawetz A., Can regional variations in demographic structure explain regional differences in car use? A case study in Austria. *Population and Environment*, 23, s. 315-345, 2002.
- [12] Polk M., The influence of gender on daily car use and on willingness to reduce car use in Sweden. *Journal of Transport Geography*, 12, s. 185-195, 2004.
- [13] Meurs H., Haaijer R., Spatial structure and mobility., *Transportation Research Part D*, 6, s. 429-446, 2001.
- [14] Rosik P., Dostępność lądowa przestrzeni Polski w wymiarze europejskim. *Prace Geograficzne*, IGiPZ PAN, Warszawa, z. 231, s. 310, 2012.
- [15] Maat K., Timmermans H.J.P., Influence of the residential and work environment on car use in dual-earner households. *Transportation Research Part A*, 43, s. 654-664, 2009.
- [16] Meurs H., Haaijer R., Spatial structure and mobility. *Transportation Research Part D*, 6, s. 429-446, 2001.
- [17] Generalny Pomiar Ruchu, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, 2010.
- [18] Przepływy ludności związane z zatrudnieniem w Polsce w 2006 r., Urząd Statystyczny w Poznaniu, 2009.
- [19] Międzygminna macierz wymeldowań i zameldowań, GUS, Warszawa (dane coroczne).
- [20] Przeciętna dobową liczbą pociągów na sieci zarządzanej przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., baza danych PKP PLK S.A.
- [21] Elektroniczny rozkład jazdy PKP działające w aplikacji HAFAS (HaCon Fahrplan-Auskunfts-System) dla okresu: 12.2009-12.2010.
- [22] Badanie obrotu towarów i usług w ruchu granicznym na granicy zewnętrznej Unii Europejskiej na terenie Polski w IV kwartale 2010 roku, GUS, Urząd Statystyczny w Rzeszowie (http://www.stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/rzesz/ASSETS_BAD_OBROT_GRAN_IV_KWARTAL_2010.pdf).

-
- [23] Limtanakool N., Dijst M., Schwanen T., The influence of socio-economic characteristics, land use and travel time considerations on mode choice for medium- and longer-distance trips. *Journal of Transport Geography*, 14, s. 327-341, 2006.
- [24] Last J., Manz W., Unselected mode alternatives: What drives modal choice in long-distance passenger transport?. Conference Paper, 10th International Conference on Travel Behaviour Research, 2003.
- [25] Stępiak, M., Rosik, P., Accessibility improvement, territorial cohesion and spillovers: a multidimensional evaluation of two motorway sections in Poland. *Journal of Transport Geography* 31, 154–163, 2013.
- [26] Garber N., *Traffic and Highway Engineering*. Third Edition, University of Virginia, Thomson Learning, Pacific Groove, 2002.