

**MARIANNA JACYNA**

prof. dr hab. inż., Politechnika  
Warszawska, Wydział Transportu,  
ul. Koszykowa 75, 00-662 War-  
szawa, tel.: +48 22 234 5855,  
e-mail: maja@wt.pw.edu.pl

**MARIUSZ WASIAK**

dr hab. inż., prof. PW, Politechnika  
Warszawska, Wydział Transpor-  
tu, ul. Koszykowa 75, 00-662  
Warszawa, tel.: +48 22 234 5962,  
e-mail: mwa@wt.pw.edu.pl

**PIOTR GOŁĘBIOWSKI**

mgr inż., Politechnika Warszawska,  
Wydział Transportu, ul. Koszykowa  
75, 00-662 Warszawa, tel.: +48  
22 234 1413, e-mail: pgolebiow-  
ski@wt.pw.edu.pl

# Model ruchu rowerowego dla Warszawy według Warszawskiego Badania Ruchu 2015<sup>1</sup>

**Streszczenie:** Rower to środek transportu, który coraz chętniej jest wykorzystywany do realizacji codziennych podróży w obszarach silnie zurbanizowanych. W artykule scharakteryzowano model ruchu rowerowego, który został przygotowany w ramach Warszawskiego Badania Ruchu 2015. Przedstawiono założenia, które przyjęto na etapie prac koncepcyjnych oraz opisano model w sposób ogólny oraz implementację w środowisku PTV VISUM. Szczegółowo scharakteryzowano model sieci oraz model popytu. Zaprezentowano problematykę kalibracji modelu. Uzyskane rezultaty są unikatowe na skalę krajową.

**Słowa kluczowe:** model ruchu rowerowego, WBR 2015, modelowanie podróży

## Wprowadzenie

Rower to niewątpliwie najbardziej proekologiczny ze środków transportu. Jest coraz chętniej wykorzystywany do przemieszczania się po obszarach miejskich. Jak wykazują badania wykonane w ramach Warszawskiego Badania Ruchu (WBR) 2015 [12], każdego dnia roboczego z wykorzystaniem rowerów odbywa się 3,1% wszystkich podróży – rysunek 1.

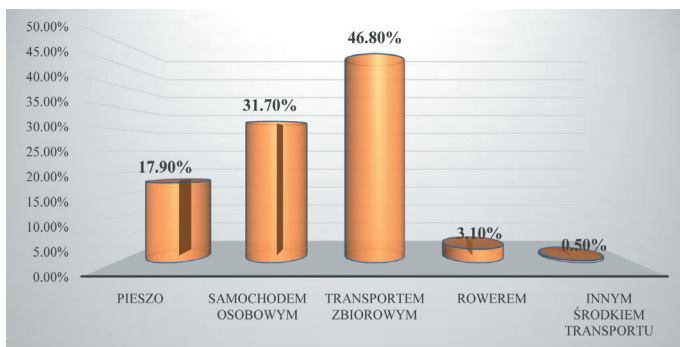
Wykorzystanie rowerów w codziennych podróżach pozwala na zmniejszenie utrudnień w ruchu oraz na poprawę jakości życia w mieście. Dzięki osobom, które wybierają rower zmniejsza się degradacja elementów infrastruktury drogowej, a także komunikacja publiczna staje się coraz bardziej atrakcyjna (mniej samochodów to mniejsze praw-

dopodobieństwo wystąpienia zatorów drogowych, które negatywnie oddziałują na czas przejazdu autobusem czy trolejbusem).

Niestety na drodze rozwoju komunikacji rowerowej występuje także wiele barier. Ścieżki rowerowe mają zwykle okrzęzny przebieg i do tego niekiedy ich nawierzchnia jest dość słabej jakości. Do innych barier należy zaliczyć ograniczoną możliwość bezpośredniego przejazdu przez przejścia dla pieszych, ograniczoną liczbę parkingów czy niedostateczne oznakowanie. Nie bez znaczenia jest też klimat, niska kultura uczestników ruchu drogowego. Likwidacja wymienionych przeszkód jest niezbędna, aby zwiększyć atrakcyjność ruchu rowerowego.

Aby skutecznie zaplanować rozwój komunikacji rowerowej w danym regionie i skutecznie móc likwidować bariery, należy budować narzędzia, które pozwolą na prognozowanie ruchu. W tym celu buduje się modele transportowe z wykorzystaniem specjalnych narzędzi. Problematyka modelowania z wykorzystaniem klasycznego czteroetapowego modelu transportowego jest szeroko scharakteryzowana w literaturze zarówno polskojęzycznej (m.in. 4, 79, 17, 18), jak i angielskiej (m.in. 1, 14, 19). Natomiast prace traktujące o ruchu rowerowym można podzielić na te, które stanowią wytyczne do planowania rozwoju transportu rowerowego 2, 10, 11, 21 oraz na te, które opisują proces modelowania ruchu rowerowego 4, 6, 13, 20. Jak wynika z analizy stosowanych dotychczas podejść, model ruchu rowerowego można zbudować na dwa sposoby: albo wydzielić przemieszczenia rowerowe na etapie podziału zadań przewozowych (część potoku ruchu przemieszcza się z wykorzystaniem środków transportu rowerowego), albo wydzielić ruch rowerowy na początku modelowania ruchu pasażerskiego na podstawie wyników badań, ankietowych i osobno przeprowadzić całą procedurę modelowania tylko dla przemieszczeń rowerowych.

W artykule przedstawiono założenia przyjęte podczas modelowania ruchu rowerowego w aglomeracji Warszawskiej w ramach Warszawskiego Badania Ruchu 2015. Przedstawiono założenia ogólne do modelu ruchu rowerowego istotne zarówno z punktu widzenia badań jak i z punktu widzenia jego implementacji w środowisku PTV VISUM [15]. Opisano przygotowany model sieci, jak



Rys. 1. Podział zadań przewozowych w Warszawie

Źródło: opracowanie własne na podstawie [12]

<sup>1</sup> ©Transport Miejski i Regionalny, 2016. Wkład autorów w publikację: M. Jacyna 34%, M. Wasiak 33%, P. Gołębiowski 33%.

również opracowany model popytu dla podróży rowerowych (w zakresie motywacji, potencjałów ruchotwórczych oraz rozkładu przestrzennego podróży). Przedstawiono uzyskane z modelu wyniki rozłożenia potoku ruchu na sieć dla roku bazowego (2015) zarówno dla szczytu porannego, jak i popołudniowego oraz problematykę kalibracji modelu ruchu rowerowego.

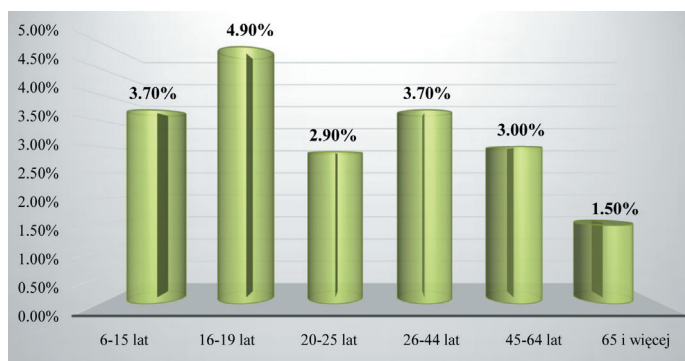
### Ruch rowerowy w aglomeracji warszawskiej

W dniu roboczym 81,6% mieszkańców Warszawy w wieku minimum 6 lat, odbywa co najmniej jedną podróż [12]. Analizując poszczególne grupy wiekowe mieszkańców, okazuje się, że największy odsetek osób wykonujących podróż jest w grupie wiekowej 16–19 lat, tj. uczniów szkół ponadgimnazjalnych (90,6% mieszkańców w tym wieku wykonało przynajmniej jedną podróż). Natomiast najmniejszym odsetkiem wykonujących podróż cechują się seniorzy w wieku 65 lat i więcej (61,4% osób w tym przedziale wiekowym odbyło podróż). Mieszkańcy Warszawy każdego dnia wykonują 3 348 336 podróży, zatem ich ruchliwość to 1,99 podróży/dobę. Oznacza to, że mieszkańcy Warszawy w wieku od 6 lat wykonują blisko dwie podróże dziennie.

Analizując wszystkie podróże mieszkańców Warszawy, stwierdzono, że 17,9% stanowią podróże piesze [12], 31,7% podróży odbywa się samochodem osobowym, 46,8% publicznym transportem zbiorowym i 0,5% innym środkiem transportu. Jednocześnie istotne miejsce w podziale modalnym zajmują środki transportu rowerowego. Z ich wykorzystaniem w dzień roboczy realizowanych jest 3,1% podróży (103 799 sztuk). Analizując tylko podróże niepiesze, udział transportu rowerowego w ogólnej liczbie podróży wynosi 3,8%.

Udział grup wiekowych mieszkańców wykonujących podróże rowerowe w całkowitej liczbie podróży przedstawiono na rysunku 2.

Jak wynika z zamieszczonych tam danych, do przemierzania po Warszawie, rower najchętniej wykorzystują osoby w wieku od 16 do 19 lat, czyli uczniowie szkół ponadgimnazjalnych. Udział tej grupy wiekowej mieszkańców poruszających się rowerem w całkowitej liczbie podróży wynosi 4,9%. Następnie uplasowały się grupy wiekowe 6–15 lat (uczniowie szkół podstawowych i gimnazjalnych) oraz osoby pracujące (w wieku 26–44 lat) z udziałem 3,7%,



Rys. 2. Udział grup wiekowych mieszkańców wykonujących podróże rowerowe w całkowitej liczbie podróży

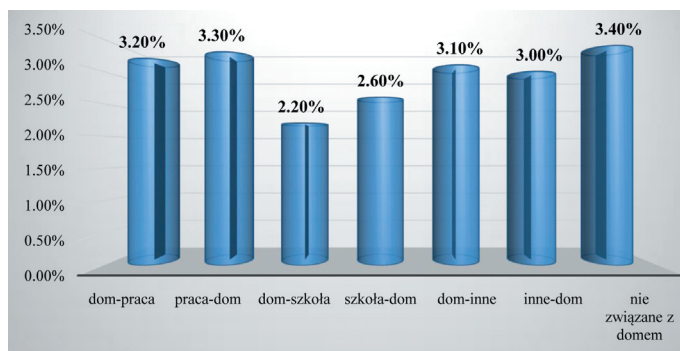
Źródło: opracowanie własne na podstawie [12]

osoby w wieku średnim (45–64 lata) z udziałem 3,0% i studenci (20–25 lat) z udziałem 2,9%. Najmniejszy udział podróży rowerowych w całkowitej liczbie podróży występuje dla grupy seniorów w wieku 65 lat i więcej – 1,5%.

Udział podróży rowerowych w całkowitej liczbie podróży w poszczególnych motywacjach przedstawiono na rysunku 3. Zgodnie z nim rower najchętniej wybierany jest dla podróży niezwiązanych z domem. Udział liczby podróży rowerowych w całkowitej liczbie podróży w tej motywacji to 3,4%. Między tą motywacją a następnymi czterema różnica w udziale podróży rowerowych wynosi 0,1%. Są to motywacje praca-dom (3,3%), dom-praca (3,2%), dom-inne (3,1%) oraz inne-dom (3,0%). Udział podróży rowerowych w kolejnych dwóch motywacjach jest mniejszy niż w pozostałych i wynosi w motywacji szkoła-dom 2,6% oraz dom-szkoła 2,2%.

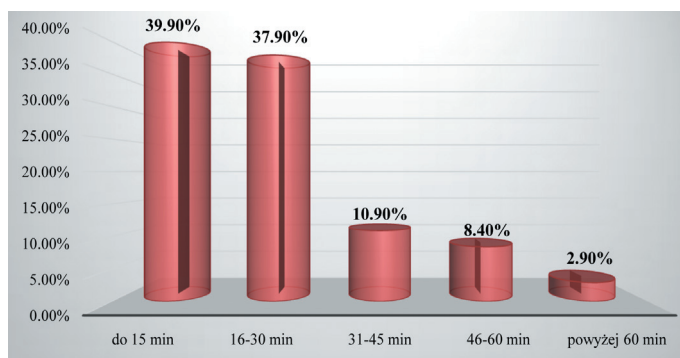
Rozkład czasów podróży rowerowych przedstawiono na rysunku 4. Według przeprowadzonych badań najczęściej podróży rowerowych trwa do 15 minut (39,9%) oraz od 16 do 30 minut (37,9%). Jest to ponad ¾ ogólnej liczby tych podróży. Następnie liczba podróży rowerowych dość drastycznie spada, ale udział tych podróży trwających od 31 do 45 minut (10,9%) i od 46 do 60 minut (8,4%) jest na podobnym poziomie. Podróże rowerowe powyżej 60 minut stanowią rzadkość i ich udział w całkowitej liczbie podróży wynosi 2,9%.

Wyniki badania dla województwa mazowieckiego wykazały, że udział podróży rowerowych w podziale modalnym dla mieszkańców aglomeracji kształtuje się na poziomie 4,1%, a dla mieszkańców gmin poza Warszawą 6,8%. Dla podróży niepieszych wartości te są równe odpowiednio 5,2% oraz 9,3%.



Rys. 3. Udział podróży rowerowych w całkowitej liczbie podróży w poszczególnych motywacjach

Źródło: opracowanie własne na podstawie [12]



Rys. 4. Rozkład czasu podróży rowerowych

Źródło: opracowanie własne na podstawie [12]

## Założenia do modelu ruchu rowerowego w Warszawie

W ramach realizacji Warszawskiego Badania Ruchu 2015 opracowany został model ruchu dla aglomeracji warszawskiej, która na potrzeby opracowania została zdefiniowana jako miasto stołeczne Warszawa oraz 25 gmin sąsiadujących: Łomianki, Izabelin, Stare Babice, Ożarów Mazowiecki, Pruszków, Piastów, Michałowice, Raszyn, Lesznowola, Piaseczno, Konstancin-Jeziorna, Józefów, Otwock, Karczew (część miejska), Wiązowna, Sulejówek, Halinów, Ząbki, Zielonka, Kobyłka, Wołomin, Marki, Nieporęt, Legionowo i Jabłonna.

Opracowany model ruchu został podzielony na trzy niezależne modele, z których trzeci to model ruchu rowerowego. Model ruchu rowerowego został przygotowany według zasad klasycznego czteroetapowego modelu transportowego. W ramach etapu pierwszego, dla zidentyfikowanych motywacji podróży, określona została generacja i absorpcja poszczególnych źródeł i ujść potoku ruchu rowerowego. Następnie w ramach etapu drugiego wykonano alokację potoków pomiędzy poszczególnymi źródłami i ujściami potoku ruchu. Etap trzeci tego podejścia to podział zadań przewozowych, zatem z uwagi na to, że ruch rowerowy został odwzorowany za pomocą odrębnego modelu, ten etap został pominięty. Ostatni etap to rozłożenie potoku ruchu na poszczególne drogi przewozu.

Przy opracowywaniu modelu ruchu rowerowego przyjęto następujące założenia:

1. Podstawą do budowy modelu są dane ze źródeł pierwotnych, tj. z badań wykonanych w ramach Warszawskiego Badania Ruchu 2015 (badania zachowań komunikacyjnych Warszawy).
2. Zasięg terytorialny modelu to obszar miasta stołecznego Warszawy (analizie pod kątem ruchu rowerowego nie poddano pozostałych 25 gmin sąsiadujących z Warszawą).
3. Model obejmuje tylko podróże, które rozpoczynają się i kończą na terenie Warszawy (ruch wewnętrzny). W modelu nie uwzględniono ruchu źródłowo-docelowego oraz tranzytowego w stosunku do aglomeracji.
4. Model odwzorowuje ruch dla typowego dnia roboczego. Do prowadzenia badań wytypowano jeden dzień, który mieścił się w okresie pomiarowym Warszawskiego Badania Ruchu 2015 – był to 23 kwietnia 2015 roku, czwartek, dzień powszedni.
5. Model zawiera ruch rowerowy dla całej doby, dla godziny szczytu porannego (07:00–08:00) oraz dla godziny szczytu popołudniowego (16:00–17:00). Wybór godzin szczytu został dokonany na podstawie analizy badań ankietowych.
6. Model jest makroskopowy (przepływy rowerów modelowane są w ujęciu ciągłym), statyczny (nie jest uwzględniany wpływ czasu, potok jedynie jest agregowany do wartości godzinowych) i deterministyczny (uwzględniony został oczekiwany, typowy stan sieci).
7. Model umożliwia prowadzenie analiz prognostycznych w horyzontach czasowych 2016, 2020, 2030 i 2050,
8. Model uwzględnia taką samą strukturę rejonów komunikacyjnych jak model niepieszego, nierowerowego ruchu pasażerskiego.

## Model ruchu rowerowego

### Model sieci

Model ruchu rowerowego (Model RR), przygotowywany w ramach Warszawskiego Badania Ruchu 2015, został opracowany dla obszaru miasta stołecznego Warszawy. Zatem w ramach prac nad modelem sieci odwzorowano istotne dla ruchu rowerowego węzły transportowe oraz odcinki znajdujące się na obszarze Warszawy. Podczas badań nie wzięto pod uwagę sieci dróg rowerowych pozostałych gmin stanowiących aglomerację warszawską.

W modelu sieci odwzorowano odcinki, po których jest możliwy (lub nie jest możliwy) ruch rowerowy. Aby ograniczyć rozmiary modelu sieci, wprowadzono jako nowe wyłączone odcinki, które mają odmienny przebieg niż drogi dedykowane dla pojazdów samochodowych. Pozostałe drogi zostały odpowiednio sparametryzowane.

Ze względu na ruch rowerowy odcinki sieci zostały sparametryzowane następująco:

$fr_1(i,j) = 0$  – droga, na której występuje zakaz ruchu rowerów,

$fr_1(i,j) = 1$  – droga, po której ruch rowerów realizowany jest na zasadach ogólnych,

$fr_1(i,j) = 2$  – droga rowerowa,

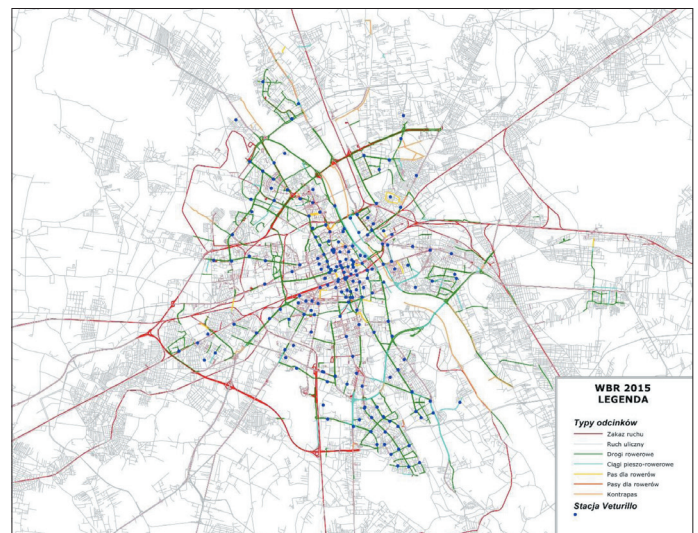
$fr_1(i,j) = 3$  – ciąg pieszo-rowerowy,

$fr_1(i,j) = 4$  – droga, na której wydzielony jest jeden pas dla rowerów, po którym odbywa się ruch dwukierunkowy,

$fr_1(i,j) = 5$  – droga, na której wydzielone są pasy dla rowerów oddzielnie dla każdego kierunku,

$fr_1(i,j) = 6$  – droga, na której wydzielony jest kontrapas dla rowerów.

Sieć Warszawy sparametryzowaną na potrzeby modelowania ruchu rowerowego przedstawiono na rysunku 5. Na rysunku tym dodatkowo odwzorowano stacje VETURILLO – czyli stacje roweru publicznego. Pozwala to na analizowanie zachowań komunikacyjnych zarówno użytkowników rowerów prywatnych, jak i systemu roweru publicznego.



Rys. 5. Parametryzacja sieci Warszawy na potrzeby modelowania ruchu rowerowego  
Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem Modelu WBR 2015 w PTV VISUM

## Model popytu

Zgodnie z przyjętymi założeniami, przygotowując model popytu na podróże rowerowe, charakteryzujący wielkość zgłaszanego zapotrzebowania na transport, odwzorowano tylko podróże realizowane na terenie miasta stołecznego – ruch wewnętrzny.

Model RR został przygotowany na podstawie analizy badań zachowań komunikacyjnych wykonanych w ramach Warszawskiego Badania Ruchu 2015. W ramach tych badań wydzielono 7 źródeł i celów podróży, na podstawie których można było wyodrębnić 49 motywacji podróży. Jednak ze względu na stosunkowo małą liczbę ankiet dotyczących wykorzystania środków transportu rowerowego na potrzeby opracowania modelu RR dokonano agregacji motywacji podróży do następujących:

- $r = 1$  – D-P (Dom – Praca),
- $r = 2$  – P-D (Praca – Dom),
- $r = 3$  – D-N (Dom – Nauka),
- $r = 4$  – N-D (Nauka – Dom),
- $r = 5$  – D-I (Dom – Inne),
- $r = 6$  – I-D (Inne – Dom),
- $r = 7$  – D-POZAWOH (Dom – Zakupy/Usługi/Rozrywka poza WOH),
- $r = 8$  – POZAWOH-D (Zakupy/Usługi/Rozrywka poza WOH – Dom),
- $r = 9$  – INNE (pozostałe motywacje, w których liczba podróży rowerowych jest znikoma).

Oddzielnie dla każdej z wymienionych motywacji podróży opracowano modele potencjałów ruchotwórczych oraz modele rozkładu przestrzennego ruchu 8, 16.

Kolejnym krokiem przy budowie modelu popytu na podróże rowerowe było zbudowanie modeli potencjałów ruchotwórczych. Dla każdej motywacji podróży niezbędnym było wyznaczenie współczynnika produkcji (generacji)  $gen(r)$  oraz współczynnika atrakcji (absorpcji)  $abs(r)$ , które po wymnożeniu przez sumę wartości zmiennych objaśniających – generację lub absorbcję  $z(r, z_0, rej)$  dla danego rejonu pozwalały uzyskać liczby podróży rozpoczynanych w rejonie  $L_{gen}(r, rej)$ :

$$\forall r \in R \quad \forall rej \in REJ \quad L_{gen}(r, rej) = gen(r) \cdot z(r, z_0, rej) \quad (1)$$

i rozwiązywanych w nim  $L_{abs}(r, rej)$ :

$$\forall r \in R \quad \forall rej \in REJ \quad L_{abs}(r, rej) = abs(r) \cdot z_0(r, rej) \quad (2)$$

W modelu ruchu rowerowego uwzględniono następujące zmienne objaśniające generację i absorbcję potoku ruchu:

- $z_0 = 1$  – całkowita liczba ludności,
- $z_0 = 2$  – całkowita liczba miejsc pracy,
- $z_0 = 3$  – liczba osób w wieku 6 lat i więcej,
- $z_0 = 4$  – liczba miejsc nauki w szkołach podstawowych, gimnazjach oraz w szkołach średnich,
- $z_0 = 5$  – powierzchnia budynków usługowych i handlowych,

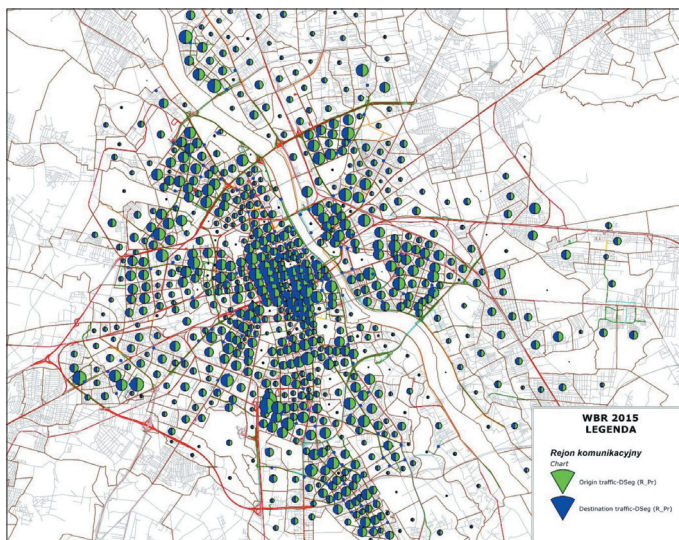
$z_0 = 6$  – liczba miejsc pracy w kategoriach działalności: handel hurtowy, handel detaliczny i naprawy, transport i magazynowanie, turystyka, kultura, rekreacja, gastronomia, biura, administracja publiczna, nauka i edukacja, zdrowie, pomoc społeczna oraz działalności pozostałe.

Formuły opracowane do wyznaczenia potencjałów ruchotwórczych dla rejonów wewnętrznych w ruchu rowerowym przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Modele potencjałów ruchotwórczych dla ruchu rowerowego				
Motywacja	Współczynnik produkcji $gen(r)$	Zmienne objaśniające – produkcja $z_0$	Współczynnik atrakcji $abs(r)$	Zmienne objaśniające – atrakcja $z_0$
Dom – Praca	0,0135	3	-	2
Praca – Dom	-	2	0,0125	3
Dom – Nauka	0,0021	3	-	4
Nauka – Dom	-	4	0,0023	3
Dom – Inne	0,0056	3	-	6
Inne – Dom	-	6	0,0057	2
Dom – poza WOH	0,0033	3	-	5
poza WOH – Dom	-	5	0,0037	3
Inne Rower	0,0046	6	0,0046	6

Na podstawie formuł zestawionych w tabeli 1. wyznaczono liczbę podróży rowerowych generowanych i absorbowanych w poszczególnych rejonach komunikacyjnych. Uzyskane w tym zakresie wyniki przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Liczba podróży rowerowych generowanych i absorbowanych w poszczególnych rejonach komunikacyjnych

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem Modelu WBR 2015 w PTV VISUM

Jak wynika z opracowanego modelu, najwięcej podróży rowerowych generowanych i absorbowanych jest w centrum Warszawy oraz w miejscach, gdzie znajdują się duże skupiska mieszkańców – m.in. wzdłuż I linii metra, na Targówku, Goławiu, Pradze Północ czy Bemowie. W pozostałych rejonach podróże rowerowe również są produkowane i absorbowane, jednak w dużo mniejszym stopniu.

Rozkład przestrzenny (więźba podróży) dla podróży rowerowych został opracowany z wykorzystaniem modelu grawitacyjnego. Jednym z jego istotnych parametrów jest funkcja oporu przestrzeni  $F_{ij}$ , bazująca na odległościach między rejonami komunikacyjnymi, którą można wyznaczyć z następującej zależności:

$$F_{ij} = a \cdot l_{ij}^b \cdot e^{c \cdot l_{ij}} \quad (3)$$

gdzie:  $a, b, c$  – parametry funkcji oporu przestrzeni,  $l_{ij}$  – odległość między rejonami komunikacyjnymi.

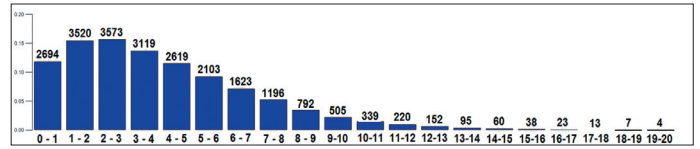
Parametry funkcji oporu przestrzeni zostały wyznaczone za pomocą modułu Kalibri pakietu PTV VISUM, przy uwzględnieniu wynikającego z ankiet przestrzennego rozkładu ruchu rowerowego. Uzyskane wartości tych parametrów przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

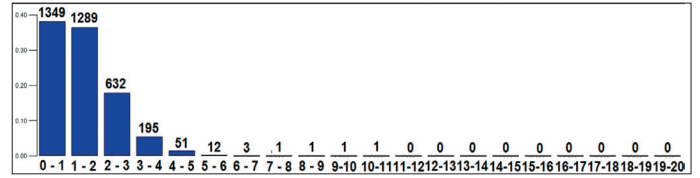
Parametry funkcji oporu przestrzeni dla ruchu rowerowego				
Motywacja	Rodzaj funkcji	Parametr a	Parametr b	Parametr c
Dom – Praca	Combined	0,541	0,347	-0,547
Praca – Dom	Combined	0,541	0,347	-0,547
Dom – Nauka	Combined	7,5	1,942	-2,523
Nauka – Dom	Combined	7,5	1,942	-2,523
Dom – Inne	Combined	0,391	-0,847	-0,289
Inne – Dom	Combined	0,391	-0,847	-0,289
Dom – poza WOH	Combined	3,525	0,638	-4,135
poza WOH – Dom	Combined	3,525	0,638	-4,135
Inne Rower	Combined	0,669	0,029	-0,668

Rozkład odległości podróży rowerowych, wyznaczony na podstawie parametrów zawartych w tabeli 2, dla poszczególnych motywacji podróży przedstawiono na rys. 7–11.

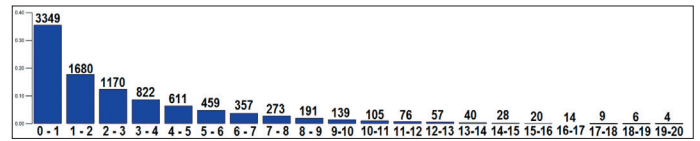
Najwięcej podróży rowerowych w motywacji dom – praca oraz praca–dom realizowanych jest na odległość od 1 do 3 kilometrów. Im większa odległość, tym tych podróży jest mniej. Zanik podróży w tej motywacji następuje dla odległości równej około 15 km. Natomiast w motywacjach dom–nauka i nauka–dom najwięcej podróży jest realizowanych na odległość do 2 km. Następnie można zaobserwować dość duże zmniejszenie liczby tych podróży, a ich zanik następuje dla odległości równej około 5 km. Na podstawie badań przeprowadzonych dla motywacji dom–inne oraz inne–dom ustalono, że najwięcej podróży zrealizowano na odległość do 1 kilometra. Następnie wraz ze wzrostem dystansu można zaobserwować dość duży spadek liczby tych podróży. Zanik tych podróży rozpoczyna się przy odległości równej około 13 km. Podobnie sytuacja kształtuje się dla motywacji dom–poza WOH i poza WOH–dom, jednak w tych przypadkach liczba podróży zanika już przy odległości równej 5 km. Dla motywacji inne rower najwięcej podróży także zostało zrealizowanych na trasach o długości do 1 km, natomiast im dalej, tym liczba tych podróży zmniejsza się, jednak nie tak gwałtownie jak w poprzednio opisanych motywacjach. Zanik podróży w motywacji inne rower występuje przy odległości równej około 10 km.



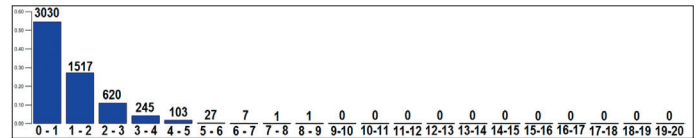
Rys. 7. Rozkład odległości podróży rowerowych dla motywacji dom – praca oraz praca – dom  
Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem Modelu WBR 2015 w PTV VISUM



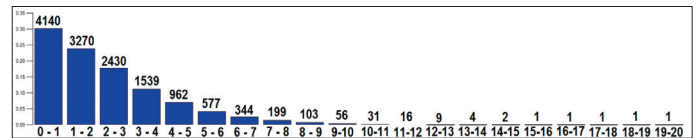
Rys. 8. Rozkład odległości podróży rowerowych dla motywacji dom – nauka oraz nauka – dom  
Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem Modelu WBR 2015 w PTV VISUM



Rys. 9. Rozkład odległości podróży rowerowych dla motywacji dom – inne oraz inne – dom  
Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem Modelu WBR 2015 w PTV VISUM



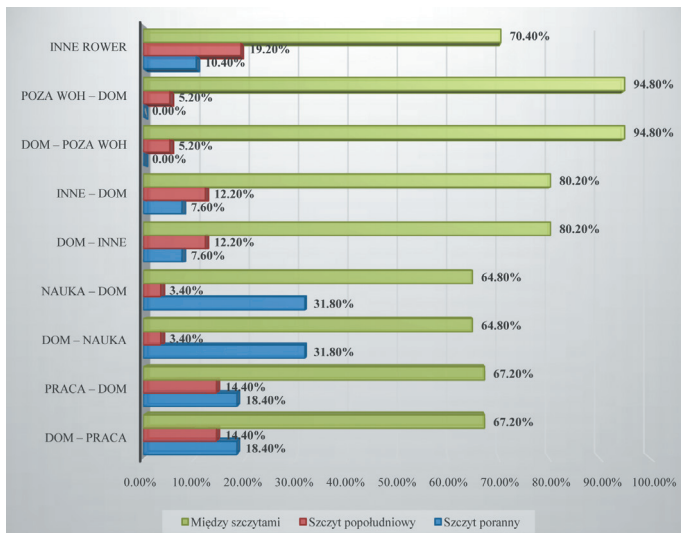
Rys. 10. Rozkład odległości podróży rowerowych dla motywacji dom – poza WOH oraz poza WOH – dom  
Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem Modelu WBR 2015 w PTV VISUM



Rys. 11. Rozkład odległości podróży rowerowych dla motywacji inne rower  
Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem Modelu WBR 2015 w PTV VISUM

Na podstawie analizy rozkładów odległości podróży można wywnioskować, że najkrótsze podróże rowerowe realizowane były w motywacji dom–nauka, nauka–dom oraz dom – poza WOH i poza WOH–dom. Świadczy to o dobrej dostępności dla rowerów na terenie Warszawy miejsc nauki oraz punktów handlowych poza wielkopowierzchniowymi obiektami handlowymi. Dla motywacji dom–inne, inne–dom oraz inne rower można zaobserwować podobny rozkład odległości podróży. Należy zauważyć, że w tych motywacjach odbywają się także podróże rekreacyjne. Najdłuższe podróże realizowane są w motywacji dom–praca oraz praca–dom.

Zgodnie z przyjętymi założeniami macierze ruchu rowerowego zostały przygotowane w taki sposób, aby można było prowadzić analizy dla doby, godziny szczytu porannego (07:00–08:00) oraz dla godziny szczytu popołudniowego (16:00–17:00). Udział godzin szczytu porannego i popołudniowego w dobowej liczbie podróży rowerowych pokazano na rys. 12.



Rys. 12. Udział godzin szczytu porannego i popołudniowego w dobowej liczbie podróży rowerowych

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem Modelu WBR 2015 w PTV VISUM

Największy udział w szczycie porannym mają podróże rowerowe w relacjach dom–nauka i odwrotnie oraz dom–praca i odwrotnie. Podróże na zakupy oraz z zakupów nie są w tej godzinie realizowane. W szczycie popołudniowym natomiast największy udział w całkowitej liczbie podróży ma motywacja inne rower oraz dom–praca i odwrotnie. W międzyszczytce największy udział ma motywacja dom–zakupy i odwrotnie.

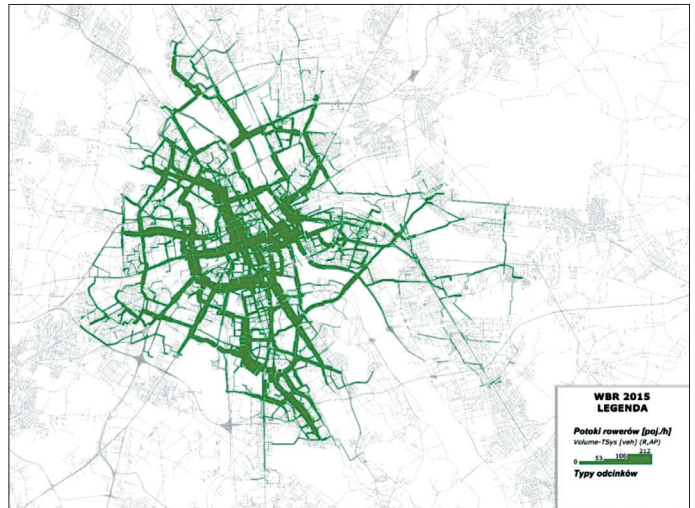
### Model rozłożenia potoku na sieć transportową

Model rozłożenia potoku na sieć transportową odwzorowano w VISUM, uwzględniając m.in. zależny od rodzaju odcinka sieci transportowej parametr oporu dla ruchu rowerowego. Ponadto, jako kryterium rozłożenia potoku ruchu uwzględniono czas jazdy w ruchu swobodnym (przyjęto, że nawet w przypadku wykorzystywania w ruchu rowerowym dróg, na których prowadzony jest ruch pojazdów samochodowych, problem kongestii ruchu dla rowerów nie jest istotny). Uzyskany za pomocą opracowanego modelu rozkład potoków rowerów na sieć transportową Warszawy dla roku bazowego (2015) w szczycie porannym przedstawiono na rysunku 13, natomiast w szczycie popołudniowym na rysunku 14.

Jak wynika z przeprowadzonych badań potok podróży rowerowych rozkłada się w miarę równomiernie po sieci transportowej Warszawy. Rowerzyści, zarówno w szczycie porannym, jak i popołudniowym wybierają główne traktory komunikacyjne. Tam, gdzie ruch rowerowy nie jest dozwolony – w modelu on nie występuje. Porównując szczyt poranny i popołudniowy, można zaobserwować wzrost natężenia ruchu na wybranych odcinkach sieci oraz spadek obciążenia na wybranych jej fragmentach.

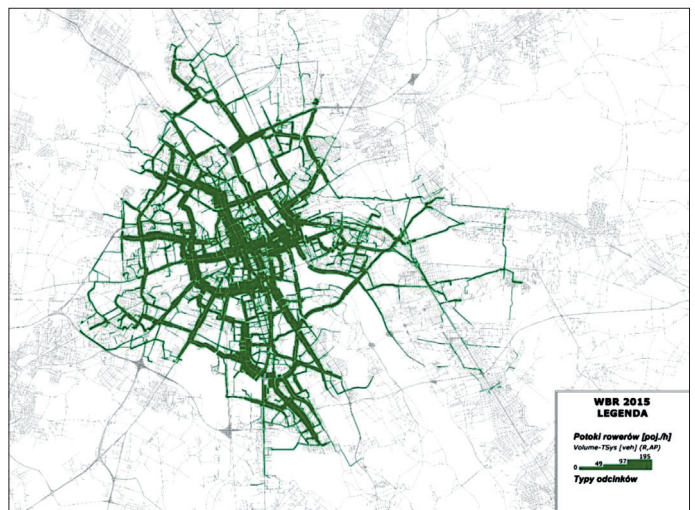
### Kalibracja modelu RR

Kalibracja modelu to skomplikowany oraz bardzo złożony proces. Podczas kalibracji należy uwzględnić szereg czynników, które mogą być ze sobą sprzeczne. Model RR został skalibrowany przy uwzględnieniu szeregu po-



Rys. 13. Rozłożenie potoku podróży rowerowych dla roku 2015 – szczyt poranny

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem Modelu WBR 2015 w PTV VISUM



Rys. 14. Rozłożenie potoku podróży rowerowych dla roku 2015 – szczyt popołudniowy

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem Modelu WBR 2015 w PTV VISUM



Rys. 15. Rozmieszczenie punktów pomiarowych ruchu rowerowego

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem Modelu WBR 2015 w PTV VISUM

miarów z wielu źródeł. Wykorzystano następujące źródła danych:

- WBR 2015, w tym: badania ankietowe podróży i zachowań komunikacyjnych mieszkańców Warszawy oraz pomiary na kordonach i ekranach,
- Generalny Pomiar Ruchu 2015,

- Zarząd Dróg Miejskich (pomiar ręczny),
- Trendy Rozwojowe Mazowsza – wykonanie modeli podróży dla woj. mazowieckiego,
- Warszawski Raport Rowerowy 2015,
- dane z systemu roweru publicznego.

Wymienione źródła danych zawierają dane o różnej strukturze oraz uwzględnione tam pomiary wykonywane były w różnych terminach. Czynniki te miały bardzo duży wpływ na proces kalibracji modelu. Na rysunku 15 przedstawiono rozmieszczenie punktów pomiarowych na terenie Warszawy, w których zostały wykonane pomiary ruchu rowerowego dla szczytu porannego, oraz które wykorzystano w procesie kalibracji opracowanego modelu.

W wyniku przeprowadzonego procesu kalibracji modelu uzyskano współczynniki determinacji na poziomie 0,27 dla szczytu porannego oraz 0,36 dla szczytu popołudniowego. Wartości współczynników determinacji zarówno dla szczytu porannego, jak i popołudniowego odbiegają od wartości powszechnie przyjętych za akceptowalne, jednak ze względu na wielorakość czynników, które należało uwzględnić, oraz niepewność danych uzyskanych z wielu źródeł (dane te częściowo były ze sobą sprzeczne) i znaczne rozproszenie ruchu rowerowego, dopasowanie uznano za zadowalające.

### Podsumowanie i wnioski

Model ruchu rowerowego przygotowany w ramach Warszawskiego Badania Ruchu 2015 został opracowany przy uwzględnieniu oryginalnego podejścia do problemu. Dotychczas nikt w kraju nie opracował podobnego modelu. Podróże rowerowe zostały wydzielone na etapie generacji ruchu, zatem jest to model autonomiczny. Należy jednak zauważyć, że zmiana parametrów modelu nie pozwoli na ocenę zmiany zachowań komunikacyjnych podróżnych z uwzględnieniem środków transportu rowerowego.

Przedstawiona w artykule koncepcja modelowania ruchu rowerowego pozwoliła na odwzorowanie ruchu rowerów na terenie Warszawy w sposób możliwie dokładny. By odwzorować przemieszczanie się rowerzystów, dokonano pewnych szczególnych modyfikacji w modelu ruchu opracowanym w ramach WBR 2015. Zakres przestrzenny modelu RR został ograniczony tylko do obszaru miasta stołecznego Warszawy. Ponadto dokonano w nim agregacji motywacji podróży. W modelu RR nie uwzględniono także ruchu źródłowo-docelowego i ruchu tranzytowego.

Ze względu na trudność w modelowaniu zachowań rowerzystów nie było możliwe uzyskanie wysokich wartości współczynnika dopasowania. Przyczyną tych trudności jest przede wszystkim jakość danych zgromadzonych w ramach Warszawskiego Badania Ruchu 2015. Często uzyskane wartości znacznie odbiegały od wartości uzyskanych z innych źródeł. Jednak ze względu na wielorakość czynników, które należało uwzględnić, uzyskane dopasowanie modelu uznano za zadowalające.

### Literatura

1. Cascetta E., *Transport Systems Analysis. Models and Applications*, 2<sup>nd</sup> Edition, Springer Optimization and Its Application, cz. 29, New York 2009.
2. Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M., *Inżynieria ruchu drogowego. Teoria i praktyka*, WKiŁ, Warszawa 2008.
3. Główny Urząd Statystyczny, *Powierzchnia i ludność w przekroju terytorialnym w 2015 r.* Warszawa 2015.
4. Hanson S., Hanson P., *Problems in integrating bicycle travel into the urban transportation planning process*, *Transportation research record*, 1976, tom 570.
5. Jacyna M., *Modelowanie i ocena systemów transportowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
6. Jacyna M., Wasiak M., *Modelowanie podziału zadań przewoźnych w segmencie przewozów pasażerskich*, Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne, 2014, nr 1(103).
7. Jacyna-Golda I., Żak J., Gołębiowski P., *Models of traffic flow distribution for various scenarios of the development of proecological transport system*, "The Archives of Transport", 2014, cz. 32, nr 4.
8. Jones I.S., *Gravity Models and Generated Traffic*, "Journal of Transport Economics and Policy", 1970, cz. 6., nr 2.
9. Karoń G., Łazarz B., *Wybrane zagadnienia budowy modelu ruchu*, „Logistyka”, 2010, nr 4.
10. Kopła T., *Rower w ruchu drogowym* (Biblioteka Drogownictwa), WKiŁ, Warszawa 1980.
11. Kopła T., Rudnicki A., *Planistyczno-komunikacyjne aspekty rozwoju komunikacji rowerowej*, „Transport Miejski”, 1996, nr 5–6.
12. Kostelecka A. (red.), *Warszawskie Badanie Ruchu 2015 wraz z opracowaniem modelu ruchu. Raport z etapu III. Opracowanie wyników badań*, Sopot/Kraków/Warszawa, listopad 2015.
13. Nosal K., Starowicz W., *Evaluation of influence of mobility management instruments implemented in separated areas of the city on the changes in modal split*, "The Archives of Transport", 2015, cz. 35, nr 3.
14. Ortuzar J., Willumsen L.G., *Modelling transport*, John Wiley & Sons Ltd., Santiago 2011.
15. Sawicki P., Kiciński M., Fierek S., *Selection of the most adequate trip-modelling tool for integrated transport planning system*, "The Archives of Transport", 2016, cz. 37, nr 1.
16. Small K., Clifford W., *The demand for transportation: models and applications*, University of California, California 1998.
17. Steenbrink P.A., *Optymalizacja sieci transportowych*, WKiŁ, Warszawa 1978.
18. Supernak J., *Modele powstawania miejskiego ruchu osobowego*, WKiŁ, Warszawa 1980.
19. Tarapata Z., *Modelling and analysis of transportation networks using complex networks: Poland case study*, "The Archives of Transport", 2015, cz. 36, nr 4.
20. Zalewski A., *Modele ruchu rowerowego w miastach i aglomeracjach*, Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie, 2009, nr 148.
21. Zalewski A., *Wpływ infrastruktury komunikacyjnej i czynników środowiskowych na ruch rowerowy w miastach średnich*, Rozprawa doktorska, Kraków 1991.