

MODELOWANIE PODZIAŁU ZADAŃ PRZEWOZOWYCH W SEGMENTCIE PRZEWOZÓW PASAŻERSKICH¹

Marianna Jacyna

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

Mariusz Wasiak

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

***Streszczenie.** W artykule przedstawiono propozycję modelowania podziału zadań przewozowych na rodzaje środków przewozowych przy uwzględnieniu ogólnej koncepcji kosztu generalizowanego podróży poszerzonej o wskaźniki oceny komfortu podróży. W opracowanym modelu wzięto pod uwagę podane w Niebieskiej Księdze (np. dla sektora kolejowego) jednostkowe wartości czasu zależne od motywacji podróży oraz rozkład dochodów w społeczeństwie. Opisany w artykule model był stosowany podczas modelowania podziału zadań przewozowych na rodzaje transportu oraz na rodzaje środków przewozowych w jednym z węzłów kolejowych.*

***Słowa kluczowe:** modelowanie podróży, podział modalny, przewozy pasażerskie*

1. Wprowadzenie

Prowadzenie badań celem określenia przewidywanych ekonomicznych i społecznych korzyści z realizacji inwestycji infrastrukturalnych jest nieodzownym elementem planowania transportu. Wynika to z uwarunkowań obiektywnych oraz formalnych, które trzeba spełnić w przypadku ubiegania się o dofinansowanie projektów infrastrukturalnych i np. taborowych. Znacząca kosztochłonność oraz czasochłonność inwestycji infrastrukturalnych sprawia, że przed podjęciem decyzji o ich realizacji konieczne jest opracowanie m.in. prognozowanych zmian obciążenia sieci transportowej. Jednym z najistotniejszych elementem tych badań jest prognozowanie podziału zadań przewozowych na rodzaje środków przewozowych (środki przewozowe wyróżnione w ramach poszczególnych rodzajów transportu, które różnią się istotnie przeznaczeniem i parametrami funkcjonalno-użytkowymi) i wynikającego z niego podziału modalnego przewozów, tj. udziału poszczególnych rodzajów transportu (w tym transportu drogowego, kolejowego, lotniczego itd.) w zaspokajaniu potrzeb przewozowych.

Podział zadań przewozowych na rodzaje środków przewozowych jest przeważnie odwzorowywany za pomocą modeli opartych na teorii użyteczności. W podejściach tych opracowywane są indywidualne funkcje użyteczności, w których

¹ Wkład autorów w publikację: Jacyna M. 50%, Wasiak M. 50%

uwzględniane jest różne spektrum czynników oceny użyteczności poszczególnych sposobów zaspokojenia potrzeb przewozowych. Wśród tych czynników najczęściej wymieniane są czas oraz bezpośredni koszt podróży. Ponadto w badaniach uwzględniane są: dostępność przestrzenna oraz czasowa, bezpieczeństwo komunikacyjne oraz osobiste, bezpośredniość, komfort podróżowania, terminowość, niezawodność, jak również elastyczność (porównaj m.in. z [13,16]).

Jak podkreśla wielu badaczy modele podziału zadań przewozowych na rodzaje środków przewozowych mają zwykle charakter lokalny. Różnią się zatem rodzajem uwzględnianych czynników, rozkładami odwzorowującymi wpływ poszczególnych czynników i samymi formułami matematycznymi. Ogólnie te są klasyfikowane jako: modele logitowe [17], wielomianowe modele logitowe MNL (Multinomial Logit) [1] oraz zagnieżdżone modele logitowe NL (Nested Logit) [1].

Istniejące modele, mimo ich częstokroć rozbudowanych postaci, zwykle uwzględniają tylko jeden lub dwa czynniki wyboru rodzaju środka przewozowego (modele z czasem podróży [10], modele cena – czas). Ponadto w tych modelach ocena czasu oraz komfortu podróży jest uwzględniana zwykle na poziomie bardzo ogólnym. Najdokładniejsze z istniejących podejść na potrzeby wyceny wartości czasu uwzględniają rozkład dochodów w społeczeństwie.

Przedstawiony w artykule model podziału zadań przewozowych na rodzaje środków przewozowych został, tak jak większość istniejących modeli, opracowany przy uwzględnieniu ogólnej koncepcji kosztu generalizowanego podróży. Poza bezpośrednim kosztem oraz czasem podróży uwzględniono w nim wskaźniki oceny komfortu podróży. Co istotne w opracowanym modelu wzięto pod uwagę podane w Niebieskiej Księdze (np. dla sektora kolejowego [11]) jednostkowe wartości czasu zależne od motywacji podróży oraz rozkład dochodów w społeczeństwie. Tym samym uzyskano możliwość modelowania podziału zadań przewozowych na rodzaje środków przewozowych dla różnych motywacji podróży oraz dla różnych grup społecznych, przy uwzględnieniu ich zróżnicowania pod względem postrzegania wartości czasu oraz komfortu podróży.

2. Etapy modelowania ruchu

Badania związane z odwzorowaniem skutków zachowań komunikacyjnych mieszkańców są prowadzone przede wszystkim przy uwzględnieniu czteroetapowego podejścia do modelowania ruchu. Poszczególne etapy tego podejścia obejmują (rys. 1):

- modelowanie generowania podróży,
- modelowanie przestrzennego rozkładu podróży,
- modelowanie podziału zadań przewozowych na rodzaje transportu oraz ew. rodzaje środków przewozowych,
- modelowanie rozkładu ruchu na sieć transportową – obciążenie sieci poszczególnych rodzajów transportu.



Rys. 1. Klasyczny czteroetapowy model transportowy

Źródło: opracowanie własne na podstawie [12]

W pierwszym etapie, obejmującym modelowanie generowania podróży, dokonywana jest identyfikacja agregatów źródeł i celów podróży (tzw. rejonów komunikacyjnych). Uwzględniane są tu cechy poszczególnych obszarów wynikające z ich zagospodarowania oraz motywacje podróży. Na tej podstawie określana jest liczba podróży rozpoczynających oraz kończących się w poszczególnych rejonach komunikacyjnych.

Drugi etap modelowania ruchu prowadzi do uzyskania dla poszczególnych motywacji podróży macierzy zapotrzebowania na przewóz w poszczególnych relacjach przewozu (źródła – cele). Macierze te są uzyskiwane najczęściej za pomocą modeli grawitacyjnych, w których uwzględniane są odległości czasowe i przestrzenne między poszczególnymi źródłami i celami podróży, jak również parametry odwzorowujące atrakcyjność poszczególnych rejonów komunikacyjnych.

Trzeci etap modelowania ruchu obejmuje budowę modeli decyzyjnych wyboru rodzaju transportu, czy też rodzaju środka przewozowego. Prowadzi to do dekompozycji zidentyfikowanych w etapie drugim macierzy zapotrzebowania na przewóz na macierze dedykowane dla poszczególnych rodzajów transportu oraz ew. rodzajów środków przewozowych. Natomiast w ostatnim etapie modelowania potoki zapisane w odpowiednich macierzach zapotrzebowania na przewóz są rozkładane na poszczególne sieci transportowe.

Dwa pierwsze etapy modelowania ruchu stanowią odrębne działania, polegające na opracowaniu formuł matematycznych pozwalających z wystarczającą dokładnością² odwzorować powstawanie oraz przestrzenny rozkład zapotrzebowa-

² Wyniki obliczeń są konfrontowane z danymi uzyskiwanymi z Kompleksowych Badań Ruchu.

nia na przewóz. Natomiast dwa ostatnie z wymienionych etapów częstokroć się przenikają. Wprawdzie zwykle praktykowane jest ich odrębne rozpatrywanie, jednak należy mieć na uwadze, że decyzje w zakresie wyboru rodzaju transportu oraz rodzaju środka przewozowego są podejmowane również ze względu na przewidywany czas podróży. Oczywiście wspomniany czas podróży jest funkcją obciążenia sieci transportowej. Zatem występuje tu bardzo silne sprzężenie zwrotne.

W literaturze można znaleźć wiele propozycji modyfikacji klasycznego cztero-etapowego podejścia do modelowania ruchu (np. [2,3,15]), jak również przykłady realizacji poszczególnych etapów modelowania ruchu (np. [1,5,7,10,16,17]).

We współczesnych narzędziach do modelowania ruchu klasy VISUM możliwe jest zrealizowanie opisanego wyżej klasycznego podejścia czteroetapowego oraz podejścia, w którym dwa ostatnie etapy modelowania przewozów pasażerskich modyfikowane są następująco:

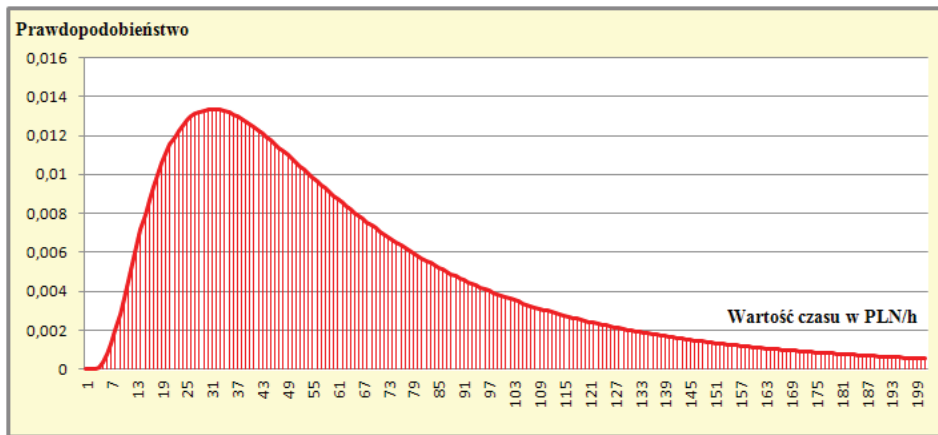
- modelowanie podziału zadań przewozowych na transport prywatny (samochody osobowe) oraz na transport publiczny (wszystkie środki transportu zbiorowego),
- modelowanie rozkładu ruchu obsługiwanego pojazdami prywatnymi na sieć transportową oraz modelowanie rozkładu ruchu obsługiwanego transportem zbiorowym na rodzaje transportu, rodzaje środków przewozowych oraz na sieć transportową.

Należy zauważyć, że posługując się współczesnymi narzędziami do modelowania ruchu klasy VISUM, w przypadku większego poziomu abstrakcji, możliwa jest pełna integracja dwóch ostatnich etapów modelowania ruchu. Jednak rozwiązanie to jest stosowane bardzo rzadko (m.in. [4,8,9]).

W dalszej części artykułu opisano podejście do modelowania podziału zadań przewozowych, które jest trzecim etapem modelowania ruchu realizowanego w ujęciu klasycznym.

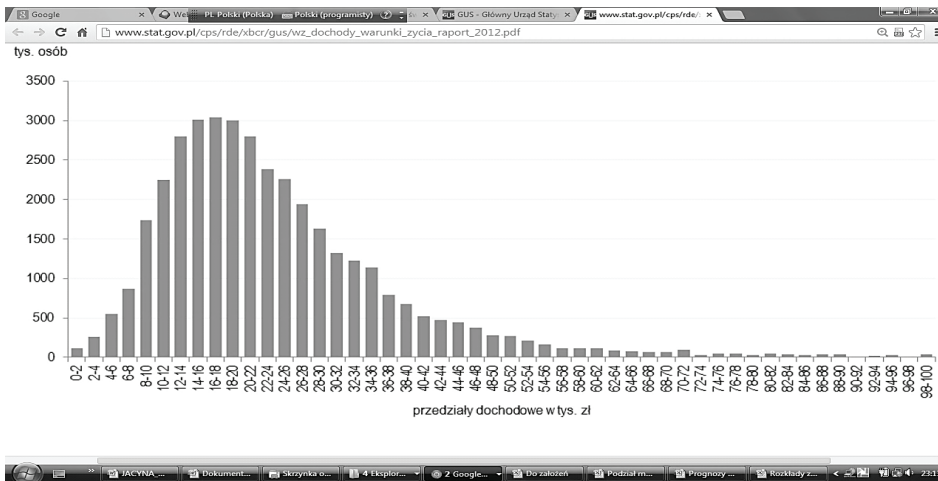
3. Koncepcja modelowania podziału zadań przewozowych

W koszcie generalizowanym podróży uwzględnia się zwykle bezpośredni koszt podróży oraz czas podróży pomnożony przez wartość godziny spędzonej w podróży (por. np. z [15,17]). W tym podejściu niezwykle ważne są założenia dotyczące rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej losowej o interpretacji wartości godziny spędzonej w podróży. Najczęściej przyjmuje się, że wartość godziny spędzonej w podróży ma rozkład logarytmiczno-normalny lub Rayleigha. Uwzględniając rozkład normalny o parametrach $\sigma = 0,75$ oraz $\mu = 3,97$ można uzyskać wykres rozkładu prawdopodobieństwa wartości godziny spędzonej w podróży jak na rys. 2.



Rys. 2. Przykładowy rozkład prawdopodobieństwa wartości godziny spędzonej w podróży
 Źródło: opracowanie własne

Kształt charakterystyki odwzorowującej wartości godziny spędzonej w podróży można zweryfikować porównując ją np. do rozkładu liczby osób według przedziałów rocznego ekwiwalentnego dochodu do dyspozycji (rys. 3).



Rys. 3. Liczba osób według przedziałów rocznego ekwiwalentnego dochodu do dyspozycji w roku 2012
 Źródło: {6}

Zakładając znajomość rozkładu prawdopodobieństwa wartości godziny spędzonej w podróży oraz całkowitego zapotrzebowania na przewóz w danej relacji przewozu, podział zadań przewozowych na dwa rodzaje środków przewozowych można uzyskać wyznaczając punkt równowagi według następującego równania:

$$h_0 = \frac{K_2 - K_1}{T_1 - T_2} \quad (1)$$

gdzie:

- h_0 – wartość godziny spędzonej w podróży określona przez punkt równowagi,
- K_1 – bezpośredni koszt podróży rodzajem środka przewozowego nr 1,
- K_2 – bezpośredni koszt podróży rodzajem środka przewozowego nr 2,
- T_1 – czas podróży rodzajem środka przewozowego nr 1,
- T_2 – czas podróży rodzajem środka przewozowego nr 2.

Punkt równowagi h_0 określa wartość godziny, dla której koszt generalizowany w przypadku korzystania z jednego lub drugiego rodzaju środka przewozowego jest identyczny.

Zastosowanie przedstawionego podejścia określanego jako model cena – czas jest bardzo ograniczone. Wynika to z uwzględnienia w nim tylko dwóch parametrów wyboru rodzaju środka przewozowego (kosztu i czasu) oraz z możliwości jego zastosowania do porównania środków przewozowych jedynie dwóch rodzajów. W konsekwencji model ten ma bardzo ograniczone zastosowanie. W pozostałych przypadkach mogą być stosowane bardziej rozbudowane modele logitowe, w tym modele zagnieżdżone.

Jednym z najważniejszych dokumentów, który musi być uwzględniany podczas modelowania ruchu jest częstokroć Niebieska Księga (np. dla sektora kolejowego [11]), w której określone zostały wartości godziny spędzonej w podróży z uwzględnieniem trzech motywacji podróży (dojazdy do pracy, cele biznesowe, inne). Jednak uzasadnionym wydaje się być stwierdzenie, że w postrzeganiu wartości godziny spędzonej w podróży, poza motywacją podróży, uwzględniana jest sytuacja materialna osoby podejmującej decyzję. Istnieje, zatem potrzeba integrowania informacji o rozkładzie rocznego ekwiwalentnego dochodu do dyspozycji z informacją dotyczącą motywacji podróży. Propozycję integracji tych wielkości na potrzeby modelowania podziału zadań przewozowych wyrażono następującą zależnością:

$$h(p, s) = h(s) \cdot \left[\left(\frac{D(p)}{SDo} - 1 \right) \cdot \alpha(s) + 1 \right] \quad (2)$$

gdzie:

- $h(p, s)$ – wartość godziny podróźnego z p -tej grupy dochodowej zidentyfikowana dla s -tej motywacji podróży,
- $h(s)$ – wartość godziny spędzonej w podróży określona dla s -tej motywacji podróży (segmentu popytu),
- $D(p)$ – wielkość dochodu podróźnego z p -tej grupy,
- SDo – średni dochód rozporządzalny na osobę,
- $\alpha(s)$ – parametr kalibracji funkcji określający dla s -tej motywacji podróży wpływ na koszt związany z czasem podróży dysproporcji między średnim dochodem na osobę a dochodem poszczególnych podróźnych.

Opracowana przy uwzględnieniu formuły (2), jak również oceny komfortu podróży zależność kosztu generalizowanego podróży od rodzaju środka przewozowego, relacji przewozu oraz motywacji podróży i grupy podróźnych została zapisana następująco:

$$Kg((a,b),r,p,s) = K((a,b),r) + [Tj((a,b),r) + Td(r)] \cdot h(p,s) - \kappa(p,s) \cdot Wk(r) \cdot L((a,b),r) \quad (3)$$

gdzie:

$Kg((a,b),r,p,s)$ – generalizowany koszt podróży w relacji (a,b) środkiem przewozowym r -tego rodzaju z punktu widzenia podróźnego z p -tej grupy dochodowej odbywającego podróż ze względu na s -tą motywację,

$K((a,b),r)$ – bezpośredni koszt podróży w relacji (a,b) środkiem przewozowym r -tego rodzaju,

$Tj((a,b),r)$ – czas przejazdu w relacji (a,b) środkiem przewozowym r -tego rodzaju, $Td(r)$ – wynikający z dostępności przestrzennej oraz czasowej dodatkowy czas podróży środkiem przewozowym r -tego rodzaju,

$h(p,s)$ – wartość godziny podróźnego z p -tej grupy dochodowej zidentyfikowana dla s -tej motywacji podróży,

$\kappa(p,s)$ – parametr kalibracji funkcji określający wpływ oceny komfortu podróży na postrzeganie kosztu całkowitego podróży przez podróźnego z p -tej grupy dochodowej zidentyfikowany dla s -tej motywacji podróży,

$Wk(r)$ – wskaźnik oceny komfortu podróży środkiem przewozowym r -tego rodzaju, $L((a,b),r)$ – odległość przewozu w relacji (a,b) dla podróży środkiem przewozowym r -tego rodzaju.

Jak wynika z formuły (3), wyrażając generalizowany koszt podróży przyjęto, że jego część związana z komfortem podróży jest proporcjonalna do wskaźnika oceny komfortu podróży danym środkiem przewozowym oraz do odległości przemieszczania (długotrwałe uciążliwości są bardziej dotkliwe).

Na podstawie przeprowadzonych badań przyjęto, że parametr $\kappa(p)$ kalibracji funkcji odwzorowującej generalizowany koszt podróży, który określa wpływ oceny komfortu podróży na postrzeganie całkowitego kosztu podróży, może być wyrażony jako funkcja ilorazu dochodów podróźnych z poszczególnych grup dochodowych oraz średniego dochodu rozporządzalnego na osobę o następującej postaci:

$$\kappa(p,s) = \frac{\sqrt{\beta(s)}}{\sqrt{\left[\left(\frac{D(p)}{SD\theta} - 1\right) \cdot \alpha(s) + 1\right]}} \quad (4)$$

gdzie:

$\kappa(p,s)$ – parametr kalibracji funkcji określający wpływ oceny komfortu podróży na postrzeganie kosztu całkowitego podróży przez podróźnego z p -tej grupy dochodowej zidentyfikowany dla s -tej motywacji podróży,

$\beta(s)$ – parametr kalibracji funkcji określający znaczenie oceny komfortu podróży dla s -tej motywacji podróży,

$D(p)$ – wielkość dochodu podróźnego z p -tej grupy,

$SD\theta$ – średni dochód rozporządzalny na osobę,

$\alpha(s)$ – parametr kalibracji funkcji określający dla s -tej motywacji podróży wpływ na koszt związany z czasem podróży dysproporcji między średnim dochodem na osobę a dochodem poszczególnych podróżnych.

Obliczenia wykonane według zależności (2), (3) i (4) prowadzą do oszacowania dla poszczególnych relacji przewozu generalizowanego kosztu podróży dostępnymi w tych relacjach środkami przewozowym dla podróżnych z wyróżnionych grup dochodowych oraz dla wyodrębnionych w badaniach motywacji podróży. W kolejnym etapie badań niezbędne jest zatem dokonanie podziału zadań przewozowych na rodzaje środków przewozowych ze względu na wyznaczone generalizowane koszty podróży. Działanie to może być zrealizowane za pomocą różnych modeli logitowych. Należy jednak mieć na uwadze, że ocena użyteczności środków przewozowych poszczególnych rodzajów dokonywana przez potencjalnych pasażerów jest ze swej natury subiektywna oraz jest dokonywana w warunkach niepewności [14,17]. Sprawia to, że w modelowaniu podziału zadań przewozowych coraz częściej dostrzegana jest potrzeba wnioskowania rozmytego.

W badaniach prowadzonych dla węzła kolejowego przyjęto, że decyzje dotyczące wyboru rodzaju środka przewozowego będą symulowane przy uwzględnieniu progu nierozróżnialności. Przyjęto, że przekroczenie wartości założonego progu nierozróżnialności powoduje odrzucenie danego rodzaju środka przewozowego, jako możliwego do wyboru przez pasażerów z określonej grupy dochodowej, który ze względu na ustaloną motywację zamierzają odbyć podróż w określonej relacji przewozu. Udziały środków przewozowych pozostałych rodzajów są wówczas ustalane proporcjonalnie do obliczonych dla nich generalizowanych kosztów podróży. Opracowana zależność ma następującą postać:

$$U((a, b), r, s) = \sum_{\substack{p \in P \\ \frac{Kg((a,b),r,p,s)}{\min\{Kg((a,b),r',p,s)\}} < \lambda}} \frac{u(p)}{Kg((a, b), r, p, s) \cdot WKg((a, b), p, s)} \quad (5)$$

gdzie:

$U((a, b), r, s)$ – udział środków przewozowych r -tego rodzaju w obsłudze pociągu podróżnych odbywających podróż w relacji (a, b) ze względu na s -tą motywację podróży,

$Kg((a, b), r, p, s)$ – generalizowany koszt podróży w relacji (a, b) środkiem przewozowym r -tego rodzaju z punktu widzenia podróżnego z p -tej grupy dochodowej odbywającego podróż ze względu na s -tą motywację,

λ – próg nierozróżnialności kosztów generalizowanych podróży,

$U(p)$ – udział podróżnych z p -tej grupy dochodowej w podróżnych ogółem,
 $WKg((a, b), p, s)$ – wskaźnik kosztu generalizowanego podróży w relacji (a, b) wyznaczony dla s -tej motywacji podróży oraz dla podróżnych z p -tej grupy dochodowej.

Występujący we wzorze (5) wskaźnik generalizowanego kosztu podróży dla poszczególnych relacji przewozu, podróżnych z różnych grup dochodowych oraz

podróży realizowanych ze względu na różne motywacje podróży jest wyznaczany następująco:

$$WKg((a,b), p, s) = \sum_{\substack{r \in R \\ \frac{Kg((a,b), r, p, s)}{\min_{r' \in R} \{Kg((a,b), r', p, s)\}} < \lambda}} \frac{1}{Kg((a,b), r, p, s)} \quad (6)$$

4. Studium przypadku

Opisane w poprzednim punkcie podejście do modelowania podziału zadań przewozowych zastosowano m.in. podczas prognozowania potoków ruchu w jednym z węzłów kolejowych. W opracowanym modelu węzła kolejowego, poza siecią kolejową odwzorowano również sieć drogową (w tym drogi krajowe, wojewódzkie i wybrane drogi miejskie), jak również sieć połączeń lotniczych. Ponadto dla sieci kolejowej zidentyfikowano oraz odwzorowano w modelu połączenia komunikacyjne obsługiwane pociągami pasażerskimi różnych kategorii (wyróżniano pociągi osobowe, pospieszne oraz kwalifikowane).

Podczas modelowania ruchu wyodrębnione zostało otoczenie bliskie oraz dalsze badanego węzła. Dzięki temu źródła oraz cele podróży zidentyfikowano na różnym poziomie szczegółowości poczynając od osiedli, a kończąc na podregionach (poprzez miasta, gminy oraz powiaty). Tym samym wyodrębniając 350 rejonów komunikacyjnych analizą objęto terytorium całej Polski, przy czym bezpośrednio otoczenie badanego węzła kolejowego zostało odwzorowane najdokładniej (osiedla), zaś otoczenie dalsze zostało odwzorowane mniej szczegółowo.

W badaniach podziału modalnego przewozów pasażerskich wzięto pod uwagę następujące rodzaje środków przewozowych (w modelu odwzorowanych jako tzw. systemy transportowe):

- pociągi kwalifikowane ($r = 1$),
- pociągi międzyregionalne ($r = 2$),
- pociągi regionalne oraz aglomeracyjne ($r = 3$),
- samochody osobowe ($r = 4$),
- autobusy ($r = 5$),
- samoloty ($r = 6$).

Jako motywacje podróży zgodnie z wymaganiami Niebieskiej Księgi [11] zostały uwzględnione:

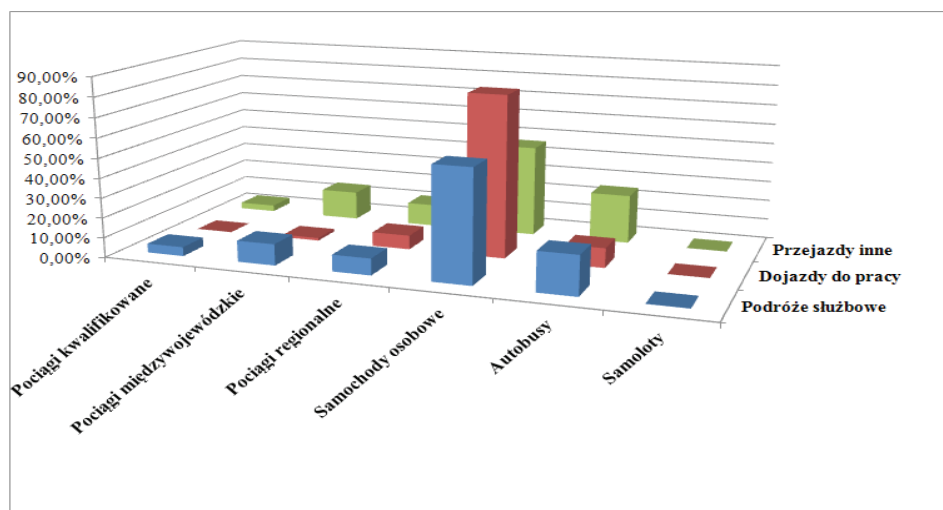
- podróże służbowe ($s = 1$),
- dojazdy do pracy ($s = 2$),
- przejazdy inne ($s = 3$).

Na potrzeby prowadzonych badań, za pomocą implementacji modelu węzła kolejowego w aplikacji VISUM, dokonano identyfikacji odległości i czasu przejazdu dla wszystkich wyodrębnionych relacji przewozu oraz rodzajów środków przewozowych. Mając na względzie ograniczone dostępności przestrzenne do środków przewozowych poszczególnych rodzajów podczas ustalania odległości oraz czasu podróży środkiem przewozowym danego rodzaju uwzględniono przewozy bezpo-

średnie (w przypadku, gdy odpowiednie rejony komunikacyjne są obsługiwane przez właściwe środki przewozowe) lub przewozy pośrednie, których zasadniczą rolę pełnią środki przewozowe danego rodzaju, zaś pozostałe mogą służyć dowozowi oraz odwozowi. Oczywiście w przypadku przewozów pośrednich realizowanych z wykorzystaniem wielu środków transportu uwzględniany jest całkowity czas oraz całkowity koszt podróży.

W badaniach przewozy pośrednie realizowane z wykorzystaniem środków przewozowych wielu rodzajów są kwalifikowane jako przewozy realizowane przez środki przewozowe pełniące zasadniczą rolę w tym procesie przemieszczania. W konsekwencji ustalony za pomocą modelu podział zadań przewozowych, w porównaniu z dostępnymi wynikami badań, cechuje się niższym udziałem środków przewozowych o większej dostępności przestrzennej, które są wykorzystywane w celach dowozowo-odwozowych. Zatem na potrzeby weryfikacji modelu dane z badań muszą zostać właściwie przetworzone.

Kalibracja modelu podziału zadań przewozowych została przeprowadzona przy uwzględnieniu wyników badań frekwencji przeprowadzonych w środkach przewozowych poszczególnych typów, jak również danych dotyczących obciążenia sieci transportowej oraz wyników ankiet dotyczących m.in. wykorzystania w realizowanych podróżach jako podstawowych środków przewozowych poszczególnych typów. W badaniach symulacyjnych ustalono m.in. następujące wartości współczynników kalibracji opracowanego modelu podziału zadań przewozowych: $\alpha(1) = 0,5$; $\alpha(2) = 0,5$; $\alpha(3) = 0,5$; $\beta(1) = 1,0$; $\beta(2) = 2,0$; $\beta(3) = 3,0$; $\lambda = 1,5$. Uzyskany dla przyjętych założeń podział zadań przewozowych w segmencie przewozów pasażerskich na środki przewozowe przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Podział zadań przewozowych w segmencie przewozów pasażerskich na środki przewozowe w badanym węzle kolejowym

Źródło: opracowanie własne

Weryfikacja opracowanego modelu podziału zadań przewozowych została przeprowadzona poprzez porównanie uzyskanych wyników z wynikami badań zachowań komunikacyjnych mieszkańców oraz danymi dotyczącymi wykorzystania środków przewozowych na poszczególnych połączeniach. Badając zgodność wyników uzyskanych za pomocą opracowanego modelu z wynikami uzyskanymi z badań zachowań komunikacyjnych mieszkańców, przy ogólnym dobrym dopasowaniu modelu (błąd równy około 6%³), stwierdzono różnice dla poszczególnych relacji przewozu nieprzekraczające 20%. Natomiast odnosząc wyniki badań symulacyjnych do danych dotyczących wykorzystania środków przewozowych na poszczególnych połączeniach, stwierdzono błąd modelu na poziomie od 1 do 8%.

5. Podsumowanie

Zagadnienie modelowania podziału zadań przewozowych na środki przewozowe jest bardzo złożonym oraz ważnym etapem prognozowania obciążenia sieci transportowej. Zgodnie z przedstawionymi w artykule informacjami w literaturze można znaleźć wiele przykładów modeli dla różnych obszarów sieci transportowej, w których dokonywany jest podział zadań przewozowych na różnym poziomie szczegółowości. Jak podkreślają sami autorzy opracowane modele są unikatowe oraz obszar ich zastosowania jest ograniczony do konkretnego obszaru sieci transportowej, jak również często do konkretnej sytuacji społeczno-gospodarczej. Opracowanie oraz kalibracja modeli podziału zadań przewozowych wymagają przeprowadzania bardzo kosztownych Kompleksowych Badań Ruchu.

W odróżnieniu od istniejących podejść, opisany w artykule model umożliwia prowadzenie analiz przy pełnym uwzględnieniu zróżnicowania dochodów poszczególnych podróżnych, jak również uzależnionego od ich dochodów różnego postrzegania komfortu podróży. Co ważne w modelu uwzględniono również niepełną rozróżnialność generalizowanych kosztów podróży dla poszczególnych osób, która jest związana z niepełną wiedzą na temat wszystkich aspektów podróży oraz uwzględnianiem w indywidualnych ocenach również innych czynników niż ujęte w modelu (np. bezpieczeństwo).

Przeprowadzona weryfikacja opisanego w artykule podejścia do modelowania podziału zadań przewozowych upoważnia do stwierdzenia, że może ono znaleźć zastosowanie w praktyce.

3 Opracowany model umożliwia uzyskanie większej dokładności w przypadku indywidualnej dla poszczególnych relacji przewozu kalibracji współczynnika komfortu podróży.

Bibliografia

- [1] Bhat C.R., Covariance heterogeneity in nested logit models: econometric structure and application intercity travel. *Transportation Research Part B*, Vol. 31 (1997), p. 11-21.
- [2] Bonnel P, Prévoir la demande de transport. Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paryż 2004.
- [3] Celiński I., Sierpiński G., Dwustopniowy model ruchu na bazie sieci GSM. *Transport miejski i regionalny*, 07-08 2011.
- [4] Cupryjak P., Wasiak M., Uwarunkowania modelowania przewozu ładunków. *Prace Naukowe Transport*, z. 97, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2013, s. 63-71.
- [5] Cupryjak P., Wasiak M., Wspomaganie komputerowe modelowania ruchu w planach zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego – doświadczenia niemieckie. *Transport Miejski i Logistyka*, nr 1/2014, s. 14-17.
- [6] Dochody i warunki życia ludności Polski (raport z badania EU-SILC 2012), GUS, Warszawa 2014.
- [7] Jachimowski R., Kłodawski M., Lewczuk K., Szczepański E., Wasiak M., Implementation of the model of proecological transport systemu, *Jurnal of Kones. Powertrain and Transport*, Vol. 20, No. 4, European Science Society of Powertrain and Transport Publication, Warsaw 2013, s. 129-139.
- [8] Jacyna M. (red.), System logistyczny Polski. Uwarunkowania techniczno-technologiczne komodalności transportu, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2012.
- [9] Jacyna, M.(ed.), The logistics system of Poland and transport co-modality. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Poland, Warsaw 2011.
- [10] Jastrzębski, W P, Logit modal split models. W: A. Adamski, A. Rudnicki, J. Żak (ed.), *Modelling and Management In Transportation*, Proc. International Conference Modelling and Management in Transportation '99, Poznań – Kraków 1999, Vol. 1, s. 137-143.
- [11] Niebieska księga. Sektor kolejowy. Infrastruktura i tabor, Jaspers, Grudzień 2008.
- [12] Ortúzar J. de D., Willumsen L.G., *Modeling transport*. 3o edition. John Wiley & Sons, UK 2001.
- [13] Rudnicki A., Jakość komunikacji miejskiej. Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji, Kraków 1999.
- [14] Sweet R.J., An aggregate measure of travel utility. *Transportation Research Part B*, Vol. 31 (1997), p. 403-416.
- [15] Szarata A., Modelowanie podróży wzbudzonych oraz tłumionych zmianą stanu infrastruktury transportowej. Seria Inżynieria Lądowa, Monografia 439, Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Kraków 2013.
- [16] Thogerson J., Understanding repetitive travel mode choices in a stable context: A panel study approach. *Transportation Research Part A*, Vol. 40 (2006), p. 621-638.

-
- [17] Wainaina S., Przegląd modeli podziału zadań przewozowych. Zeszyty Naukowo-Techniczne Oddziału Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Materiały Konferencyjne (nr 46), Z. 92, 2002, s. 395-413.