

# Wpływ parametrów jakościowych transportu zbiorowego na podział zadań przewozowych

Mariusz Dudek

*Niniejszy referat pokazuje wpływ jakości funkcjonowania i stopnia uprzywilejowania pojazdów komunikacji zbiorowej na zmianę zachowań komunikacyjnych, które najlepiej parametryzuje podział zadań przewozowych. W wielu polskich miastach w ostatnich latach wprowadzane są systemy sterowania ruchem usprawniające ruch takich pojazdów i dlatego też ważne jest zbadanie tego wpływu. Na podstawie badań symulacyjnych z wykorzystaniem modeli opracowanych dla 4 miast polskich oraz modelu ogólnego dla miast niemieckich przeanalizowane zostaną wpływy takich czynników jak: prędkość konkurencyjnych środków transportu, odległości podróży, a także faktu przesiadki oraz czasu jej trwania. Na zakończenie sformułowane zostaną przesłanki dla najbardziej efektywnego kształtowania systemów sterowania ruchem.*



Dr inż. Mariusz Dudek  
Politechnika Krakowska  
Instytut Inżynierii Drogo-  
wej i Kolejowej

Jednym z podstawowych celów inżynierii ruchu jest zapewnienie możliwie największej płynności ruchu pojazdów. W wielu polskich miastach w ostatnich latach wprowadzane są systemy sterowania ruchem mające na celu usprawnienie przejazdu pojazdów komunikacji zbiorowej. Działania takie powodują wzrost jakości funkcjonowania transportu publicznego, a co za tym idzie także i jego atrakcyjności i przyczyniają się do wzrostu potoków pasażerskich, co odzwierciedla właśnie podział zadań przewozowych. Podejmując decyzję o wprowadzeniu takich rozwiązań władze tych miast liczą na zmniejszenie natężenia ruchu samochodowego, a co za tym idzie presji na rozbudowę sieci ulicznej oraz systemów parkingów, które są bardzo kosztownymi działaniami. Dlatego też bardzo ważnym jest oprócz poznania rozwiązań usprawniających ruch pojazdów komunikacji zbiorowej, także zgłębienie efektywności ich wprowadzenia. Taką uniwersalną miarą jest podział zadań przewozowych określający udział komunikacji zbiorowej w przejeździe potoków pasażerskich.

## Przeprowadzenie badań symulacyjnych

Analiza zmian podziału zadań przewozowych przeprowadzona została z wykorzystaniem czterech modeli dla polskich miast opracowanych w ostatnich latach na podstawie kompleksowych badań ruchu. Modele te uzależnione były zarówno od czasu podróży komunikacją zbiorową jak i indywidualną:

- model dla Katowic opracowany na podstawie badań z roku 1998 [4]

$$u_{kz} = \frac{1}{1+5,9 \cdot e^{-1,42 \cdot S_i}} \quad (1)$$

przy czym  $S_i = \frac{T_{ki}}{T_{kz}}$

- model dla Siemianowic Śląskich pochodzący również z roku 1998 [4]:

$$u_{kz} = \frac{1}{1+3,2 \cdot e^{-0,68 \cdot S_i}} \quad (2)$$

- model dla Poznania opracowany w roku 2007 [1]:

$$u_{kz} = \frac{1}{1+3,2 \cdot e^{-0,79 \cdot S_i}} \quad (3)$$

- model dla Gdańska opracowany w roku 2010 [2]:

$$u_{kz} = \frac{1}{1+2,5 \cdot e^{-0,79 \cdot S_i}} \quad (4)$$

Modele te zostały skonfrontowane z modelem dla miast niemieckich opracowanym na podstawie badań zachowań komunikacyjnych w roku 1996 [3]. Model ten mimo upływu kilku lat może opisywać przyszłe zachowania komunikacyjne mieszkańców polskich miast ze względu na jeszcze niższe wartości wskaźnika motoryzacji, a także ciągle niższą wartość czasu. Model ten należy do grupy modeli logitowych, w których o udziale poszczególnych środków podróży w przejeździe ruchu decyduje użyteczność takiej podróży zależna od czasu przejazdu. Na podstawie wspomnianych badań udział komunikacji zbiorowej w przejeździe potoków pasażerskich ilustruje równanie o postaci:

$$u_{kz} = \frac{1,6487 \cdot e^{-0,05 \cdot T_{kz}}}{1+6487 \cdot e^{-0,05 \cdot T_{kz}} + 5,4739 \cdot e^{-0,1 \cdot T_{ki}}} \quad (5)$$

Obliczenia symulacyjne przeprowadzone zostały dla następujących przypadków:

- czterech odległości podróży: 2km (odpowiadająca podróży w obrębie śródmieścia względnie dojazd z osiedla sąsiadującego ze śródmieściem do centrum miasta), 4km, 6km i 8km (odzwierciedlająca podróż pomiędzy dwoma dzielnicami peryferyjnymi);
- prędkości przejazdu komunikacją indywidualną wynoszącą: 15km/h (odpowiadającą

prędkości komunikacyjnej przejazdu po ulicach centrum bez koordynacji sygnalizacji świetlnej), 20km/h, 25km/h, 30km/h oraz 40km/h (średnia prędkość komunikacyjna jaka może być osiągnięta na ulicach układu podstawowego na obszarach peryferyjnych poza godzinami szczytu); jest ona liczona na podstawie czasu przejazdu pomiędzy parkingami u źródła i celu podróży i w sytuacji, gdy odległość podróży wynosi 6km, wówczas na jej pokonanie potrzeba odpowiednio: 24, 18, 14,4, 12 oraz 9 minut;

- prędkości przejazdu komunikacją zbiorową z przedziału od 12km/h (odpowiadająca prędkości komunikacyjnej na sieci w centrum miasta przy braku systemu priorytetów ruchu) do 30km/h (odzwierciedlająca prędkość komunikacyjną na ciągach z pełnymi priorytetami oraz brakiem zakłóceń pochodzących od innych uczestników ruchu) z krokiem co 2km/h;
- dla większych odległości podróży (tj. 4 km i więcej) oprócz podróży bezprzesiadkowych przeanalizowano również podróże z przesiadkami generującymi dodatkowe straty czasu: 5min. (zwały węzeł przesiadkowy, krótki czas oczekiwania na kolejny pojazd), 10min. oraz 15min. (rozległy węzeł przesiadkowy, długi czas oczekiwania na kolejny pojazd komunikacji zbiorowej).

Dla wszystkich rozpatrywanych przypadków dodatkowo założono:

- czas dojazdu od źródła podróży do przystanku początkowego oraz z przystanku końcowego do celu podróży po 5min. każdy,
- czas oczekiwania na pojazd komunikacji zbiorowej – 3min. (większość pasażerów szczytu komunikacyjnym zna rozkład jazdy),
- czas dojazdu od źródła podróży do zaparkowanego samochodu oraz z parkingu docelowego do celu podróży – łącznie 5min.

Dla każdego zestawu danych wejściowych oraz pięciu rozpatrywanych modeli zostały wykonane obliczenia symulacyjne podziału zadań przewozowych, które dla przykładowe-

go, najczęściej spotykanego zestawu danych wejściowych przedstawione zostały na rys. 1.

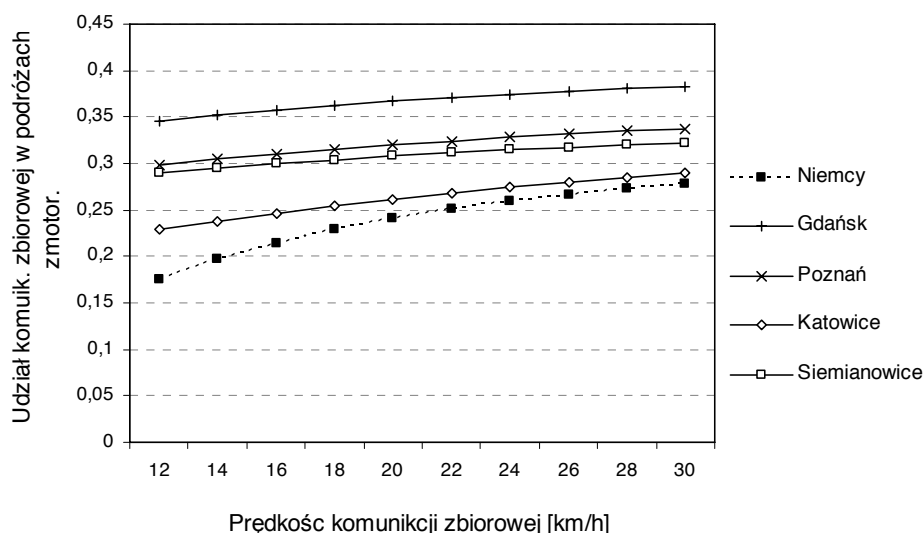
Porównując otrzymane wyniki dla różnych rozpatrywanych modeli obliczeniowych można stwierdzić, że najwyższy udział komunikacji zbiorowej w podróżach spośród czterech rozpatrywanych miast polskich można zaobserwować w Gdańsku, a najmniejszy w Siemianowicach Śląskich. Należy przy tym zaznaczyć, że cechują się one podobną wrażliwością na zmiany parametrów obliczeniowych: dla wartości parametrów jak na wykresie (rys. 1) dla prędkości komunikacji zbiorowej różnica w wielkości udziału komunikacji zbiorowej w przewozach pomiędzy modelami dla Gdańska i Siemianowic Śląskich wynosiła 5,6% dla prędkości 12km/h oraz 6% dla prędkości 30km/h. W dalszych badaniach podstawę analiz będzie stanowił model dla Gdańska, który jest najmłodszy.

Jeszcze mniejsze wartości udziału komunikacji zbiorowej w podróżach niepieszych można zaobserwować analizując wyniki z modelu dla miast niemieckich. Porównując jego wyniki z modelami dla miast polskich można stwierdzić, że charakteryzuje się on większą wrażliwością na zmiany prędkości co ma związek z większą wartością czasu pasażera.

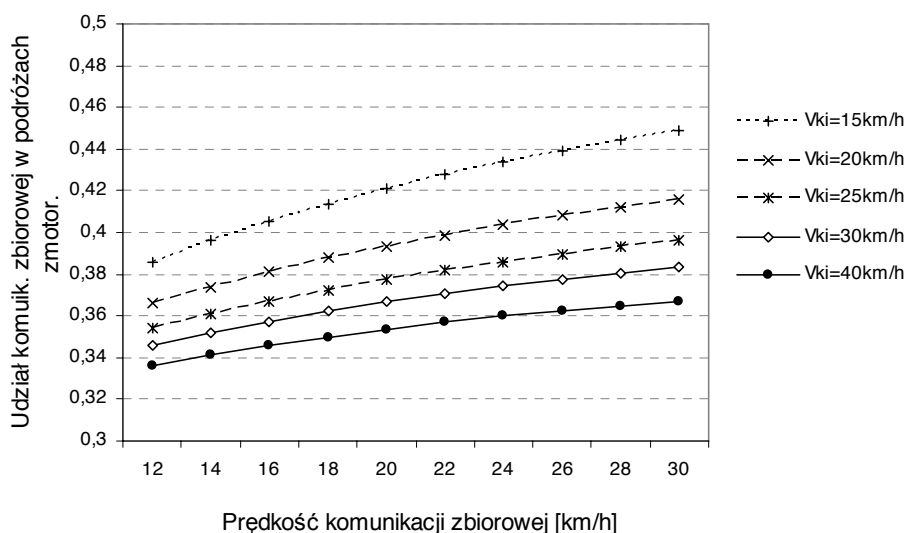
## Analiza wpływu prędkości podróży na podział zadań przewozowych

W pierwszym etapie przeanalizowano wpływ na podział zadań przewozowych prędkości przejazdu zarówno komunikacją indywidualną jak i zbiorową. Bardziej szczegółowe analizy przeprowadzono z wykorzystaniem modelu dla Gdańska dla podróży na odległość 4km, która odzwierciedla dojazd z osiedla mieszkaniowego położonego w strefie za-inwestowania wielkomiejskiego do centrum miasta (rys. 2).

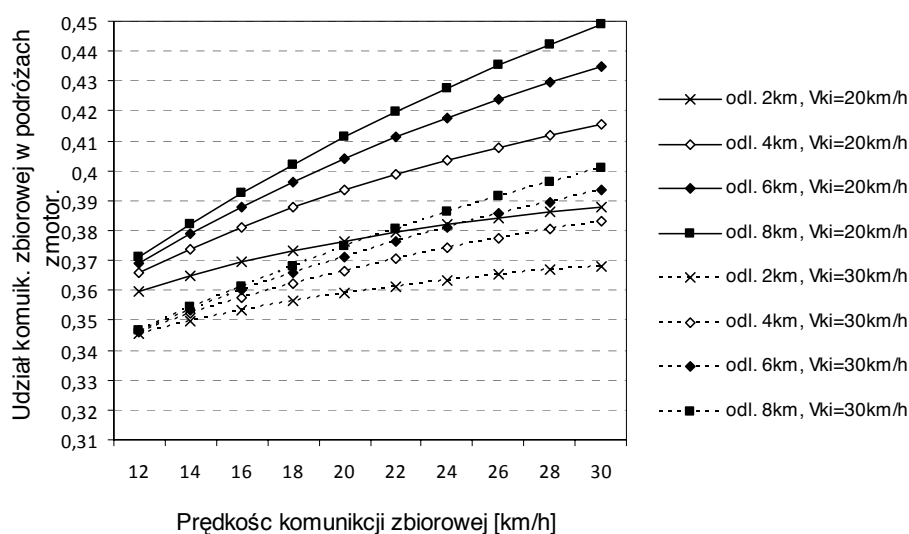
Analizując powyższy wykres można stwierdzić, że na udział komunikacji zbiorowej w przewozach wpływ ma nie tylko prędkość z jaką poruszają się jej pojazdy, ale także prędkość samochodów stanowiących konkurencyjny środek transportu. Najczęściej wprowadzając priorytety dla pojazdów komunikacji zbiorowej następuje jej automatyczne obniżenie. Niekiedy to obniżenie prędkości samochodów osiągane jest w sposób celowy jak np. w Bochum, gdzie system sterowania ruchem samochodowym na ulicach z wbudowanym torowiskiem w jezdni oraz tzw. „czasowymi wyspami przystankowymi” sterowanymi specjalną sygnalizacją świetlną uniemożliwia wyprzedzenie tramwaju przez jadące równoległe samochody. Dlatego też wprowadzając priorytety dla pojazdów komunikacji zbiorowej należy się liczyć ze zwiększeniem potoku pasażerskiego przez nią obsługiwanego nie tylko w wyniku poprawy jakości jej funkcjonowania, ale także pogorszenia warunków ruchu samochodowego.



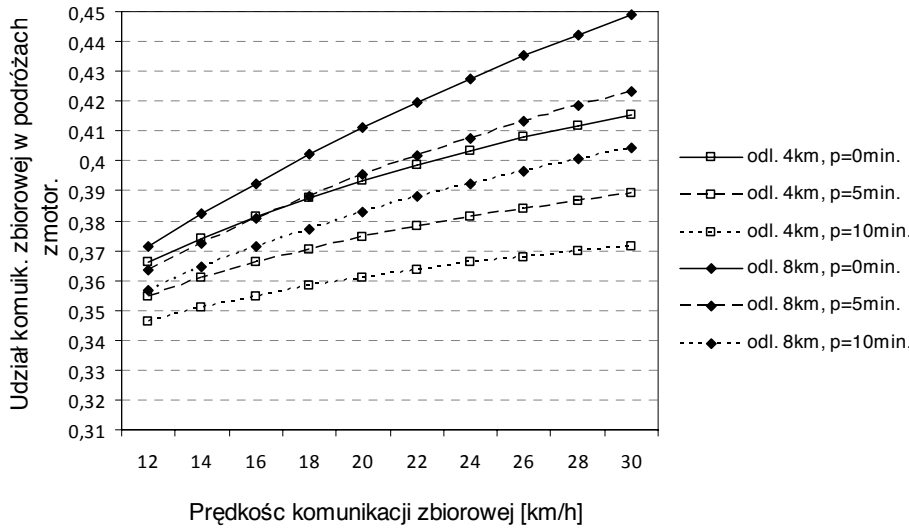
1. Wyniki obliczeń symulacyjnych dla różnych modeli podziału zadań przewozowych dla podróży bezprzesiadkowej na odległość 4km przy prędkości komunikacji indywidualnej 30km/h



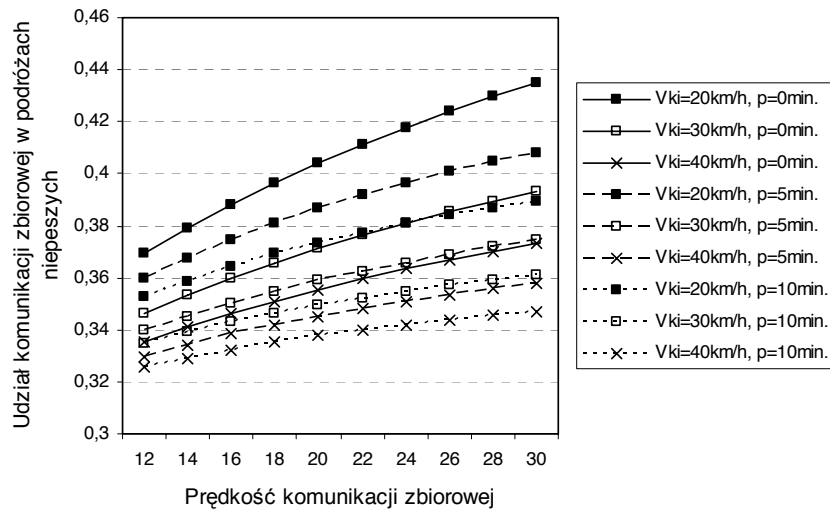
2. Wpływ na podział zadań przewozowych prędkości przejazdu komunikacją zbiorową na przykładzie podróży bezprzesiadkowej na odległość 4km i modelu dla Gdańska



3. Wpływ na podział zadań przewozowych odległości podróży na przykładzie modelu dla Gdańska oraz prędkości komunikacji indywidualnej 20km/h i 30km/h



4. Wpływ na podział zadań przewozowych czasu trwania przesiadki i odległości podróży na przykładzie modelu dla Gdańska oraz prędkości komunikacji indywidualnej 20km/h



5. Wpływ na podział zadań przewozowych przesiadki na przykładzie podróży na odległość 6km i modelu dla Gdańska

## Analiza wpływu odległości na podział zadań przewozowych

W drugim etapie analiz zbadano wpływ na podział zadań przewozowych odległości podróży. Zależy on w dużym stopniu od prędkości przejazdu obydwoma konkurencyjnymi środkami transportu. Zarysowujące się tendencje zmian w podziale zadań przewozowych ilustruje rys. 3, na którym przedstawiono wyniki dla dwóch najczęściej osiągniętych prędkości w komunikacji indywidualnej: 20km/h (średnia prędkość przejazdu osiągnięta w sieci miejskiej w godzinach szczytu) oraz 30km/h (średnia prędkość w sieci ulicznej poza godzinami szczytu).

Porównując otrzymane wyniki można stwierdzić wpływ odległości podróży na podział zadań przewozowych. Im odległość podróży jest większa, tym większe znaczenie mają osiągnięte dzięki systemowi sterowania prędkości pojazdów komunikacji zbiorowej.

W przypadku większych odległości podróży uzyskuje się bowiem większe skrócenie czasu podróży komunikacją zbiorową, co ma istotny wpływ na jej konkurencyjność względem samochodu. Drugim czynnikiem mającym istotny wpływ jest prędkość komunikacyjna samochodów. Gdy komunikacja indywidualna ma relatywnie dobre warunki funkcjonowania, wówczas wpływ wzrostu prędkości pojazdów komunikacji zbiorowej i odległości podróży na podział zadań przewozowych jest mniejszy.

## Analiza wpływu przesiadki na podział zadań przewozowych

Kolejnym czynnikiem objętym analizami był wpływ konieczności dokonania przesiadki na podział zadań przewozowych. Jest to czynnik o tyle ważny, gdyż obecnie coraz więcej miast rozważa oprócz wprowadzenia priorytetów dla pojazdów komunikacji zbiorowej także system przesiadkowy przy projektowaniu układu

linii. Bardziej szczegółowo przebadano model dla Gdańska, dla dwóch odległości przejazdu (4 i 8km) oraz trzech wariantów podróży: bezprzesiadkowej (tzn. brak strat czasu z powodu przesiadki) oraz przesiadkowych generujących dodatkowe straty czasu 5 i 10 minut (rys. 4).

Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, że konieczność dokonania przesiadki powodującej wydłużenie czasu jazdy o 5 minut przyczynia się do nieznacznej spadku udziału komunikacji zbiorowej w przewozach o 1÷2% w zależności od odległości podróży. Konieczność przesiadki generująca dodatkowe straty czasu o 10 minut (w przypadku bardziej rozległych węzłów oraz przy przeciętnie skoordynowanych rozkładach jazdy) powoduje spadek tego udziału o 2÷4,5% także w zależności od odległości podróży. Na tej podstawie można stwierdzić, że wprowadzając przesiadkowy układ linii komunikacji zbiorowej powinno się dążyć do redukcji strat czasu z tego powodu – wówczas spadek potoków w komunikacji zbiorowej będzie nieznaczny.

Jeżeli równoległe z wprowadzeniem układu linii komunikacji zbiorowej z przesiadkami zastosowane zostaną wprowadzone priorytety dla pojazdów je obsługujących wówczas czas przeznaczone na podróż nie ulegnie zmianie, np. wydłużenie czasu podróży o 5 minut z powodu przesiadki w przypadku podróży na odległość 4km zostanie zrekomensowane poprzez podniesienie prędkości pojazdów komunikacji zbiorowej z 14 na 20km/h. W przypadku podróży na większe odległości tzn. 8km, wówczas konieczność przesiadki wydłużająca czas podróży o 5 minut zostanie zniwelowane poprzez podniesienie prędkości pojazdów komunikacji zbiorowej z 14 do 16km/h, a w przypadku przesiadki powodującej wydłużenie czasu podróży o 10 minut – z 14 do 20km/h. Dla podróży na mniejsze odległości taka rekompensata nie była już możliwa do wprowadzenia.

W następnym etapie analiz zbadano wpływ na podział zadań przewozowych nie tylko konieczności dokonania przesiadki, ale także prędkości samochodów. Analizy przeprowadzono dla trzech rodzajów podróży z przesiadkami oraz dla trzech wartości prędkości w komunikacji indywidualnej: 20, 30 oraz 40km/h (rys. 5).

Porównując otrzymane wyniki można stwierdzić, że wraz ze wzrostem prędkości komunikacji indywidualnej maleje wpływ przesiadki na podział zadań przewozowych. Konieczność przesiadki generująca dodatkowe straty czasu 5 minut powoduje spadek udziału komunikacji zbiorowej w podróży:

- 0,9÷2,7% w zależności od prędkości komunikacji zbiorowej od 12 do 30km/h i dla prędkości samochodu 20km/h,
- 0,5÷1,5% w zależności od prędkości komunikacji zbiorowej od 12 do 30km/h i dla prędkości samochodu 40km/h.

W przypadku przesiadek powodujących straty czasu 10minut zmiany te wynoszą:

- 1,6÷4,5% w zależności od prędkości komunikacji zbiorowej od 12 do 30km/h i dla prędkości samochodu 20km/h,
- 1,0÷2,6% w zależności od prędkości komunikacji zbiorowej od 12 do 30km/h i dla prędkości samochodu 40km/h.

Mniejszy spadek dla wyższych prędkości w komunikacji indywidualnej jest spowodowany faktem, że wówczas komunikacja jest już i tak mało atrakcyjna, więc dalsze pogorszenie warunków jej funkcjonowania nie będzie miało większego wpływu na podział zadań przewozowych.

Analizując głębiej otrzymane wyniki można stwierdzić, że prędkość samochodów nie ma wpływu na konieczne zwiększenie prędkości pojazdów komunikacji zbiorowej rekompensujące konieczność dokonania przesiadki. Dla przesiadek wydłużających czas podróży o 5 minut na odległość 6km koniecznym jest np. podniesienie prędkości z 14 do 18 km/h, natomiast dla przesiadek 10-minutowych odpowiednio – z 14 do 24 km/h.

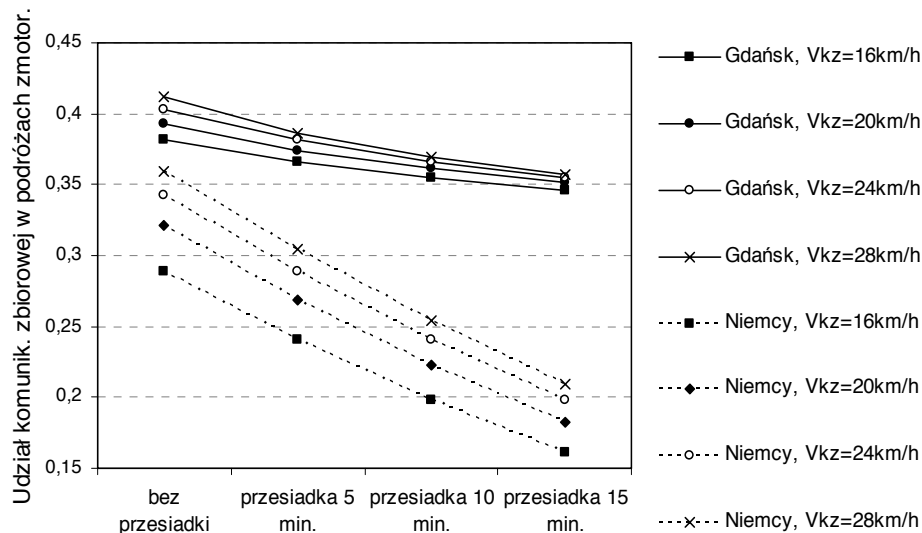
Na zakończenie analiz wpływu przesiadek na podział zadań przewozowych zbadano wpływ prędkości pojazdów komunikacji zbiorowej. Odzwierciedla to sytuację miast, w którym już funkcjonują systemy usprawniające ruch pojazdów komunikacji zbiorowej i zapewniające pasażerom krótki czas przejazdu, natomiast wprowadzona zostaje remarszrutyzacja układu linii wymuszająca na pasażerach konieczność przesiadania się. Analizy te przeprowadzone zostały z wykorzystaniem dwóch modeli obliczeniowych: dla Gdańska i miast niemieckich, gdzie wartość czasu pasażera ma zdecydowanie większą wartość (rys. 6).

Analizując otrzymane wyniki w oparciu o model dla Gdańska można stwierdzić, że wprowadzenie konieczności przesiadek:

- 5 minut spowoduje spadek udziału komunikacji zbiorowej 1,5÷2,5% w zależności od prędkości jej pojazdów od 16 do 28km/h,
- 10 minut spowoduje spadek udziału komunikacji zbiorowej 2,6÷4,2% w zależności od prędkości jej pojazdów od 16 do 28km/h,
- 15 minut spowoduje spadek udziału komunikacji zbiorowej 3,5÷5,4% w zależności od prędkości jej pojazdów od 16 do 28km/h.

Ponadto można stwierdzić, że wraz ze wzrostem czasu traconego na przesiadki maleje wpływ prędkości pojazdów komunikacji zbiorowej na wielkość podziału zadań przewozowych: dla podróży bezprzesiadkowych rozrzut jej wartości wynosi 3% (dla analizowanych wartości tej prędkości), a dla przesiadek wydłużających czas podróży o 15 minut rozrzut ten wynosi tylko 1,1%.

Uzyskane wyniki w oparciu o model dla Gdańska zostały porównane z wynikami dla miast niemieckich. Porównując założenia dla obydwóch modeli można stwierdzić, że w modelu niemieckim przyjęta jest znacznie wyższa wartość czasu pasażera, stąd jego zdecydowanie większa wrażliwość na ewentualne wydłu-



6. Wpływ na podział zadań przewozach przesiadki oraz prędkości komunikacji zbiorowej na przykładzie podróży na odległość 4km oraz modeli dla Gdańska i miast niemieckich

żenie czasu trwania podróży konkurencyjnymi środkami transportu. Według tego modelu konieczność przesiadki wydłużająca czas podróży:

- 5 minut spowoduje spadek udziału komunikacji zbiorowej 4,9÷5,5% w zależności od prędkości jej pojazdów od 16 do 28km/h,
- 10 minut spowoduje spadek udziału komunikacji zbiorowej 9,1÷10,5% w zależności od prędkości jej pojazdów od 16 do 28km/h,
- 15 minut spowoduje spadek udziału komunikacji zbiorowej 12,8÷15,0% w zależności od prędkości jej pojazdów od 16 do 28km/h.

W praktyce oznacza to spadek potoków w komunikacji zbiorowej o 1/6 dla przesiadek 5-minutowych, o 1/3 dla przesiadek 10-minutowych oraz o prawie 1/2 dla przesiadek 15-minutowych. W przypadku miast polskich powinno to stanowić ostrzeżenie o dobrej koordynacji rozkładów jazdy w obrębie węzłów przesiadkowych w celu minimalizacji strat czasu podczas przesiadki.

## Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych analiz można opracować następujące wnioski:

- Systemy sterowania ruchem zapewniające priorytet dla pojazdów komunikacji zbiorowej winny być wprowadzane w pierwszej kolejności na trasach komunikacyjnych, po których realizowane są podróże na większe odległości. Jak zostało wykazane w niniejszym referacie skrócenie czasu przejazdu komunikacją zbiorową jest wówczas większe, a co za tym idzie większy jest wzrost potoków pasażerskich przez nią obsługiwanych.
- Wprowadzając systemy sterowania ruchem uprzywilejowujące pojazdy komunikacji zbiorowej powoduje się pogorszenie ruchu dla samochodów. Ten czynnik ma także duże znaczenie w zwiększaniu roli komunikacji zbiorowej w podróżach poprzez pogorszenie konkurencyjności komunikacji indywidualnej.
- Kształtując sieć komunikacji zbiorowej nale-

ży przywiązywać dużą wagę do prawidłowego ukształtowania węzłów przesiadkowych, tak aby pasażer przemieszczając się pomiędzy poszczególnymi peronami tracił jak najmniej czasu. Dodatkowo w przypadku wprowadzania systemu przesiadkowego w podróżach należy dążyć do jak największego skoordynowania linii celem minimalizacji czasu oczekiwania na wznowienie podróży. Jak pokazano wydłużenie czasu traconego na przesiadkę wpływa na zmniejszenie potoków pasażerskich w komunikacji zbiorowej.

- Wprowadzając nową marszrutyzację linii komunikacji zbiorowej należy równolegle zastosować system sterowania ruchem zapewniający priorytety dla komunikacji zbiorowej, który zrekompensuje straty czasu dla pasażerów. Ma to duże znaczenie w przypadku podróży na mniejsze odległości, gdyż wówczas straty czasu podczas przesiadek w większym stopniu wpływają na wydłużenie całego czasu trwania podróży. ◀

## Materiały źródłowe:

- [1] Krych A. z zespołem: „KBR Poznań 2000 - diagnoza i wnioski”; Biuro Inżynierii Transportu BIT, Poznań 2000
- [2] Massel A.: „Kolej metropolitalna w Trójmieście. Badanie podróży”; Instytut Kolejnictwa, Warszawa, 2010
- [3] Schnabel W., Lohse D.: „Grundlagen der Strassenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung, Band 2 Verkehrsplanung”; Verlag für Bauwesen, Berlin, 1997
- [4] Starowicz W. z zespołem: „Kompleksowe badania ruchu w Katowicach i Siemianowicach Śląskich - Analizy problemowe”; Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie, Kraków 1999