

MAREK BAUER

dr inż., Politechnika Krakowska,
Katedra Systemów Komunikacyj-
nych, ul. Warszawska 24,
31-155 Kraków,
mbauer@pk.edu.pl

NORMATYWNE PRĘDKOŚCI AUTOBUSÓW NA WYDZIELONYCH PASACH W WARUNKACH ZBLIŻONYCH DO RUCHU SWOBODNEGO^{1,2}

Streszczenie. W procesie planowania usprawnień dla pojazdów komunikacji zbiorowej bardzo istotne znaczenie ma precyzyjne określenie czasu przejazdu. O ile w przypadku modelowania stanu istniejącego można posilkować się nawet bardzo dokładnymi wynikami pomiarów, o tyle w przypadku rozwiązań nowych – już tego komfortu nie ma. Często się zdarza, że w celu zwiększenia efektywności funkcjonalnej i ekonomicznej proponowanych rozwiązań w procesie modelowania przyjmowane są zbyt optymistyczne prędkości przejazdu. Są one bardzo trudne lub wręcz niemożliwe do osiągnięcia po wdrożeniu inwestycji. W referacie skoncentrowano się na odcinkach z pasami autobusowymi, pracującymi w warunkach umiarkowanego wpływu sygnalizacji świetlnej i ruchu innych pojazdów, a więc takich, na których straty czasu autobusów są stosunkowo niewielkie. Omówiono zmienność czasu przejazdu autobusów na podstawie badań przeprowadzonych na specjalnie wybranych odcinkach z „szybkimi” pasami autobusowymi w Krakowie i Warszawie. W badaniach tych wykorzystano technikę GPS, co umożliwiło pozyskanie szczegółowych profili prędkości autobusów oraz precyzyjne określenie miejsc i czasu zatrzymań. Przeanalizowano zależność średnich prędkości przejazdu oraz prędkości komunikacyjnych od długości odcinków międzyprzystankowych. Wynikiem tej analizy są wartości normatywne, które mogą być wykorzystywane w modelowaniu symulacyjnym sieci transportowych z odcinkami z wydzielonymi pasami autobusowymi. Wartości te mogą być również stosowane jako punkt odniesienia do wyznaczania strat czasu autobusów na ciągach z wydzielonymi pasami dla autobusów.

Słowa kluczowe: transport miejski, transport pasażerski, pas autobusowy

Wprowadzenie

Wydzielone pasy autobusowe cieszą się coraz większą popularnością w polskich miastach. Umożliwiają zwiększenie średnich prędkości przejazdu autobusów, znacząco wpływają na zmniejszenie ich rozrzutu. Przekłada się to na poprawę punktualności i regularności kursowania oraz wpływa na zwiększenie liczby i udziału podróży odbywanych komunikacją miejską na ciągach, na których uruchomiono takie pasy.

Potencjalne efekty stosowania pasów autobusowych są szacowane już na etapie planowania inwestycji z wykorzystaniem modeli symulacyjnych. Niezbędne jest określenie przewidywanych prędkości i czasów przejazdu autobusów dla potrzeb analiz podróży i ruchu, a także analizy ekonomicz-

nej. Oferowane parametry linii korzystających z wydzielonych pasów mają wpływ nie tylko na prędkości podróży, ale także na podział zadań przewozowych. Dlatego wiarygodne oszacowanie prędkości przejazdu jest tak istotne.

Większość dotychczas zrealizowanych pasów autobusowych było tworzonych na ciągach zlokalizowanych w obszarach śródmiejskich. Ponieważ obszary śródmiejskie charakteryzują się dużą gęstością skrzyżowań o mieszanej strukturze kierunkowej ruchu – dominują rozwiązania z sygnalizacją świetlną. Pasy autobusowe są najczęściej realizowane jako pasy przykrawężnikowe prawe, z których na wlotach skrzyżowań mogą korzystać także wszystkie pojazdy skręcające w prawo. Efektem takiego stanu rzeczy są kolejki pojazdów, których rozładowanie jest trudne ze względu na prowadzony równoległe ruch pieszy. Jest to przyczyną występowania strat czasu autobusów w obrębie skrzyżowań, pomimo zastosowania wydzielonych pasów ruchu. I chociaż czasy przejazdu autobusów są krótsze niż w przypadku ruchu po pasach ogólnodostępnych, to jednak trudno jest mówić o pełnym wykorzystaniu pasów.

Nieco inaczej wygląda sytuacja w przypadku pasów autobusowych tworzonych na ciągach bez skrzyżowań, na których relacje skrętne odbywają się na węzłach oraz na tych ciągach ze skrzyżowaniami, na których nie występują istotne relacje w prawo i dodatkowo jest przyznawany priorytet w sygnalizacji (lub przynajmniej duży udział sygnału zielonego dla relacji z autobusami). Ruch autobusów odbywa się wówczas z prędkością zbliżoną do swobodnej, można więc stwierdzić, że prędkości te stanowią górną granicę osiągnięć autobusów. Mogą zatem stanowić punkt odniesienia dla oceny strat czasu autobusów na odcinkach o podobnych długościach, na których jednak nie udało się zapewnić trwałego i skutecznego oddzielenia ruchu autobusów od ruchu innych pojazdów. Takie podejście zastosowano w pracy [1] dotyczącej ruchu tramwajów po wydzielonych torowiskach, brakuje natomiast opracowań dotyczących możliwości funkcjonalnych pasów autobusowych. Doświadczenia z innych krajów (w tym także doświadczenia szybkich linii autobusowych BRT) nie zawsze można przełożyć na lokalne uwarunkowania.

Można się zatem pokusić o stwierdzenie, że możliwości pasów autobusowych w polskich miastach nie są do końca znane. Dodatkowo, poprzez brak konsekwencji w faktycznym uprzywilejowaniu komunikacji autobusowej kosztem pozostałych pojazdów, powstają rozwiązania połowiczne,

¹ © Transport Miejski i Regionalny, 2013.

² Artykuł opracowano na podstawie referatu wygłoszonego na IX konferencji naukowo-technicznej „Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia komunikacyjnego”, Poznań–Rosnówek, 19-21. VI. 2013 r.

które niestety często są punktem odniesienia dla przyszłych inwestycji. Dlatego podjęto próbę opisu ruchu autobusów po pasach specjalnych, której efektem mają być zalecenia do modelowania prędkości i czasów przejazdu autobusów, które mogłyby być wykorzystywane w budowie modeli symulacyjnych, a także jako wartości normatywne, stanowiące podstawę dla oceny strat czasu na liniach autobusowych. W niniejszym tekście skupiono się na dobrych rozwiązaniach „szybkich” pasów autobusowych, na których ruch autobusów jest zbliżony do swobodnego i tylko w niewielkim stopniu jest istotnie ograniczany ruchem innych pojazdów.

Czas przejazdu autobusu po wydzielonym pasie ruchu

W dużym uproszczeniu można przyjąć, że przejazd odcinka międzyprzystankowego bez zakłóceń pochodzących od ruchu innych pojazdów składa się z fazy przyspieszania przy odjeździe z przystanku, fazy przejazdu ze stałą prędkością oraz fazy zwalniania przy dojeździe do kolejnego przystanku. Wówczas czas przejazdu można wyznaczyć za pomocą formuły [2]:

$$T_s = \frac{S}{v_{\max}} + \frac{v_{\max}}{2} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) \quad (1)$$

gdzie:

- T_s – czas przejazdu odcinka międzyprzystankowego [s],
- S – długość odcinka międzyprzystankowego [m],
- v_{\max} – prędkość maksymalna autobusu na odcinku [m/s],
- a – współczynnik przyspieszenia autobusu [m/s^2],
- b – współczynnik opóźnienia autobusu przy hamowaniu [m/s^2].

Podobne podejście zastosowano w pracach [1] i [3], gdzie przedstawiono prędkość handlową jako funkcję prędkości maksymalnej na odcinku, tyle że w odniesieniu do ruchu tramwajów.

Jeżeli odcinek międzyprzystankowy nie jest zbyt długi, można uwzględnić powszechne dzisiaj dążenie kierowców do ekonomicznej jazdy, wyrażające się przyspieszaniem od momentu odjazdu z przystanku do momentu osiągnięcia maksymalnej prędkości jazdy, a następnie stopniowym zwalnianiem i hamowaniem przed przystankiem [2]. Wówczas wzór do wyznaczania czasu przejazdu przybiera postać:

$$T_s = \frac{v_{\max}}{a} + \frac{v_{\max} - v_c}{c} + \frac{v_c}{b} \quad (2)$$

gdzie dodatkowo:

- v_c – prędkość maksymalna autobusu na odcinku [m/s],
- c – współczynnik zwalniania autobusu [m/s^2].

Zastosowanie powyższych wzorów może być przydatne, jednak problemem jest przyjęcie realistycznych i wiarygodnych wartości poszczególnych zmiennych. O ile współczynniki przyspieszania i hamowania można wyznaczyć, stosu-

jąc standardy obowiązujące w danym mieście, o tyle już maksymalna prędkość jazdy jest trudna do oszacowania. Zazwyczaj nie ma ona związku z prędkością dopuszczalną na danym odcinku.

Dlatego, szczególnie dla celów modelowania, o wiele bardziej przydatne wydają się czasy przejazdu wyznaczone za pomocą formuł regresyjnych uzależniających czas przejazdu odcinka z pasem autobusowym od długości odcinka oraz dodatkowych zmiennych określających warunki ruchu, przedstawione m.in. w pracach [4] i [5]. W tej ostatniej czas przejazdu odcinka, na którym ruch autobusów przebiega w sposób niezakłócony (niskie wielkości potoków pojazdów skręcających w prawo, poniżej 150 [P/h] oraz brak innych manewrów pojazdów w obrębie i sąsiedztwie pasa autobusowego), określono jako liniową zależność:

$$T_s = 1,14 \cdot L + 0,38 \cdot s_s \quad (3)$$

gdzie:

- T_s – czas przejazdu odcinka międzyprzystankowego [min],
- L – długość odcinka międzyprzystankowego [km/h],
- s_s – liczba skrzyżowań z sygnalizacją świetlną na odcinku [-].

Niestety liniowa postać wzoru sprawia, że jego zastosowanie jest ograniczone, a uzyskiwane czasy przejazdu mogą być przeszacowane w przypadku dłuższych odcinków międzyprzystankowych. Również sama budowa oprogramowania służącego do makrosymulacji (np. VISUM) nie sprzyja wykorzystaniu oszacowanego czasu przejazdu. W tym przypadku znacznie bardziej użyteczne są prędkości autobusów. Takie podejście zaprezentowano na przykład w [4], gdzie prędkość przejazdu odcinka linii, z wydzielonym przekrojem dla autobusów komunikacji miejskiej można wyznaczyć za pomocą formuły:

$$S_t = \left(\frac{60}{t_{r,0} + t_{r,1}} \right) \cdot f_s \cdot f_b \quad (4)$$

gdzie:

- S_t – prędkość przejazdu odcinka linii autobusowej [km/h],
- $T_{r,0}$ – bazowy czas przejazdu odcinka linii, uwzględniający liczbę przystanków na 1 [km] i długość czasu postoju na przystankach [min/km],
- $T_{r,1}$ – straty czasu ponoszone przez autobus [min/km],
- f_s – współczynnik uwzględniający omijanie przystanków,
- f_b – współczynnik wzajemnego blokowania autobusów.

Trudność w zastosowaniu powyższego wzoru stanowią bazowe czasy przejazdu, określone w warunkach amerykańskich.

Badania własne prędkości przejazdu autobusów po wydzielonych pasach

Badania ruchu autobusów przeprowadzono na dwóch ciągach komunikacyjnych charakteryzujących się warunkami ruchu umożliwiającymi osiągnięcie wysokich prędkości przejazdu. Dobór ciągów był celowy, niewiele jest w Polsce odcinków ulic z pasami autobusowymi oferujących wysokie prędkości przejazdu. Badania te są częścią prowadzonych przez autora szerszych badań funkcjonowania pasów autobusowych w polskich miastach.

Pierwszym z analizowanych ciągów komunikacyjnych jest ciąg Trasy Łazienkowskiej w Warszawie, począwszy od przystanku „Pomnik Lotnika”, biegnący ulicą Wawelską, alejami Armii Ludowej i Stanów Zjednoczonych, do przystanku „Przyczółek Grochowski”, o łącznej długości 6,5 [km]. Jest to jedyny ciąg z pasami autobusowymi w Polsce, na którym warunki ruchu autobusów są całkowicie niezależne od systemu sterowania. Na analizowanym ciągu, na trasie autobusów występuje tylko jedno skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną, w pozostałych przypadkach relacje skretne są realizowane poprzez łącznice na węzłach, przy czym zjazdy i wjazdy z łącznic odbywają się z wykorzystaniem pasa autobusowego. Jest to bardzo istotny ciąg komunikacyjny, z punktu widzenia obsługi miasta komunikacją miejską.

Natomiast drugi z badanych ciągów, o długości blisko 2,0 [km], jest zlokalizowany w Krakowie i ma znacznie mniejsze znaczenie w systemie komunikacji miejskiej. Rozpoczyna się na skrzyżowaniu z ulicą Saską (przystanek „Lipska”) i biegnie ulicą Lipską do skrzyżowania z ulicą Mierzeja Wiślana (przystanek „Surzyckiego”). Na wszystkich odcinkach ciągu przystanki zostały ulokowane na wylotach skrzyżowań z sygnalizacją świetlną. Na ciągu tym nie ma zapewnionych priorytetów w sygnalizacji, jednak autobusy poruszają się w nadrzędnym potoku ruchu, który ma zapewniony wysoki udział sygnału zielonego, co znacznie zmniejsza prawdopodobieństwo zatrzymania na wlocie skrzyżowania.

Badania prędkości przejazdu autobusów były prowadzone w dni robocze, z wykorzystaniem ręcznych odbiorników GPS, przez przeszkolonych obserwatorów. Podczas pomiarów fizycznie rejestrowane były momenty:

- zatrzymania autobusu przed przystankiem, gdy jest on zajęty przez inne pojazdy;
- zatrzymania pojazdu na przystanku, równoznaczny z rozpoczęciem wysiadania i wsiadania pasażerów;
- zakończenia wysiadania i wysiadania podstawowej grupy pasażerów (moment zakończenia wymiany pasażerów);
- odjazdu z przystanku, równoznaczny z momentem rozpoczęcia włączania się do ruchu.

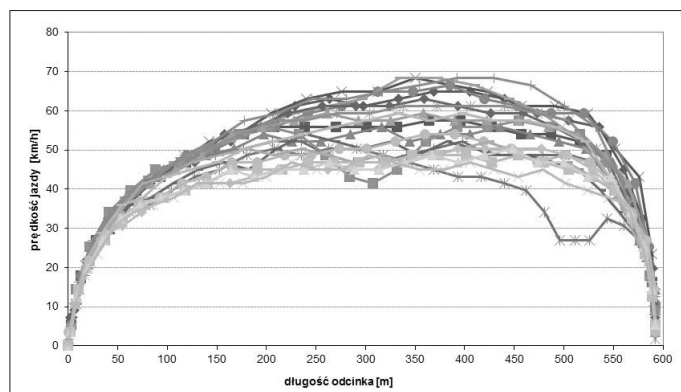
Uzyskanie tak precyzyjnych danych umożliwiło określenie dokładnych charakterystyk dotyczących kolejnych procesów zachodzących na linii, w tym wyodrębnienie czystego czasu przejazdu odcinka między kolejnymi przystankami, co z kolei, po uwzględnieniu długości odcinka, umożliwiło wyznaczenie prędkości przejazdu. Dodatkowo pomiar manualny był na bieżąco uzupełniany automatycznym po-

miarem śladu pojazdu, pozycjonowanym co 2 sekundy, co z kolei umożliwiło określenie profili prędkości podczas przejazdu każdego odcinka międzyprzystankowego.

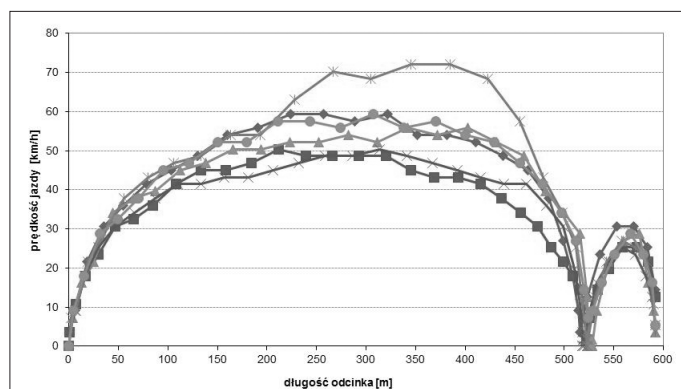
Ogółem wykonano po 36 przejazdów ciągu Trasy Łazienkowskiej autobusami linii zwykłych 182 i 188 oraz linii pospiesznej nr 523, zatrzymującej się na wybranych przystankach. Zarejestrowano także po 28 przejazdów linii nr 185 poruszającej się ciągiem ulicy Lipskiej. Biorąc pod uwagę szczegółowość prowadzonych analiz, uzyskana próba dała dobry pogląd na osiągnięte prędkości autobusów.

W przypadku odcinków zlokalizowanych w ciągu Trasy Łazienkowskiej zakłócenia czasu przejazdu obserwowano właściwie tylko na odcinkach łączących się z przystankami „Metro Politechnika”, na których udział długości pasów autobusowych w całkowitej długości odcinków są stosunkowo niewielkie, a autobusy są zmuszone do zmian pasów ruchu. Na pozostałych odcinkach obserwowano sporadyczne zatrzymania pomiędzy przystankami lub znaczące obniżenie prędkości przejazdu na ich fragmentach, jednak za każdym razem działo się to w mniej niż 5 [%] badanych przejazdów. Na niektórych odcinkach nie zanotowano żadnych tego typu zdarzeń.

Nieco inaczej przedstawiała się sytuacja na ciągu ulicy Lipskiej, gdzie zatrzymania pomiędzy przystankami mogą być wynikiem braku sygnału zielonego na wlocie skrzyżowania. Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono zmienność prędkości przejazdu na tylko jednym z badanych odcinków w ciągu ulicy Lipskiej („Rzebika” – „Mały Płaszów”). Wyniki pomiarów rozbito na dwie części: przejazdy bez zatrzymania w obrębie skrzyżowania (rys. 1) oraz z zatrzymaniem (rys. 2).



Rys. 1. Zmienność prędkości przejazdu autobusu po pasie autobusowym, bez zatrzymania na skrzyżowaniu z sygnalizacją (odc.: „Rzebika” – „Mały Płaszów”)



Rys. 2. Zmienność prędkości przejazdu autobusu po pasie autobusowym, z zatrzymaniem na skrzyżowaniu z sygnalizacją (odc.: „Rzebika” – „Mały Płaszów”)

Już na pierwszy rzut oka widać, że przypadków przejazdu bez zatrzymania jest znacznie więcej (75 [%]) niż przejazdów z zatrzymaniem. Dodatkowo, zanotowano tylko jeden przejazd, podczas którego kierowca znacząco zwolnił, starając się sterować prędkością w taki sposób, aby przejazd odbył się bez zatrzymania, co także jest widoczne na wykresie 1. Niemniej wszystkie prędkości maksymalne osiągnięte na odcinku podczas kolejnych przejazdów są do siebie zbliżone, różnice wynikają jedynie z konieczności (lub jej braku) zatrzymania na wlocie skrzyżowania. Podobne zróżnicowanie profili prędkości otrzymano także na pozostałych odcinkach ciągu. Zauważono także, że na czterech z sześciu badanych odcinków międzyprzystankowych – uśrednione prędkości przejazdu są na tyle wysokie, że odcinki te mogą być wstępnie potraktowane jako odcinki umożliwiające przejazd z prędkością zbliżoną do swobodnej.

Ponieważ oszacowanie prędkości przejazdu dla potrzeb modelowania symulacyjnego powinno uwzględniać możliwie wierny obraz sytuacji, prędkości osiągnięte na poszczególnych odcinkach zostały wyznaczone z uwzględnieniem wszystkich przejazdów, także tych, podczas których dochodziło do zatrzymań i istotnych spowolnień jazdy na wlotach skrzyżowań. Zestawienie uzyskanych prędkości zamieszczono w tabeli 1 (ciąg Trasy Łazienkowskiej) oraz w tabeli 2 (ciąg ulicy Lipskiej). W pierwszym przypadku – uwzględniono zarówno odcinki na liniach zwykłych, jak też na linii pospiesznej (ostatnie 6 wierszy tabeli – kursywą).

Uzyskane wyniki pomiarów stanowią bazę do budowy modelu prędkości przejazdu autobusów po odcinkach z pasami autobusowymi.

Zależność średniej prędkości przejazdu autobusu od długości odcinka

Ze względu na zróżnicowanie wyników średnich prędkości przejazdu odcinków międzyprzystankowych dokonano szczegółowej ich analizy z punktu widzenia istniejącej infrastruktury i warunków ruchu. W pierwszym kroku wyeliminowano odcinki, na których długości pasów autobusowych stanowiły mniej niż 60 [%] długości całych odcinków. Postąpiono tak między innymi z odcinkiem „Przyczółek Grochowski” – „Kanał Gocławski”, mimo iż średnia prędkość przejazdu na tym odcinku to ponad 35 [km/h]. Uznano jednak, że w takich przypadkach prędkość w niewielkim stopniu wynika z faktu wydzielenia pasa dla autobusów. Wyeliminowano także, między innymi, dwa odcinki ciągu ulicy Lipskiej („Mały Płaszów” – „Surzyckiego”, „Rzebika” – „Lipska”), na których zakończeniach autobusy skręcają w prawo, ponosząc dodatkowe straty czasu.

Zrezygnowano również z najdłuższych odcinków warszawskich z pasami autobusowymi, łączących przystanki „Plac Na Rozdrożu” i „Saska”. Są to odcinki linii pospiesznej, na których osiągnięte są bardzo wysokie średnie prędkości przejazdu (wynikające częściowo z faktu omijania przystanków), jednak trudno je porównywać z resztą odcinków, ze względu na znacząco większe ich długości (ponad 2 [km]).

Tabela 1

Prędkości przejazdu odcinków międzyprzystankowych na Trasie Łazienkowskiej w Warszawie				
Odcinek	Długość [m]		Prędkość przejazdu [km/h]	
	odcinka	pasa BUS	średnia	odchylenie standardowe
Pomnik Lotnika – Al. Wielkopolski	270	270	22,7	2,7
Al. Wielkopolski – GUS	740	175	36,5	4,7
GUS – Metro Politechnika	530	0	31,1	4,4
Metro Politechn. – Marszałkowska	455	290	23,7	6,7
Marszałkowska – Pl. Na Rozdrożu	480	480	32,3	3,5
Pl. Na Rozdrożu – Rozbrat	810	810	37,2	3,6
Rozbrat – Torwar	490	240	32,0	2,6
Torwar – Wał Miedzeszyński	765	390	34,5	4,6
Wał Miedzeszyński – Saska	675	525	38,1	3,8
Saska – Międzynarodowa	395	315	30,2	3,3
Międzynarodowa – Kanał Gocł.	570	570	35,5	3,8
Kanał Gocł. – Przyczółek Groch.	265	40	26,2	2,0
Przyczółek Groch. – Kanał Gocł.	595	130	35,7	3,6
Kanał Gocł. – Międzynarodowa	650	520	38,3	2,8
Międzynarodowa – Saska	395	395	31,8	2,3
Saska – Wał Miedzeszyński	560	430	34,8	2,2
Wał Miedzeszyński – Torwar	755	535	39,4	3,8
Torwar – Rozbrat	510	460	36,2	2,7
Rozbrat – Pl. Na Rozdrożu	805	550	36,4	2,7
Pl. Na Rozdrożu – Marszałkowska	465	465	33,6	2,3
Marszałkowska – Metro Politechn.	425	175	20,0	6,3
Metro Politechnika – GUS	530	85	30,5	7,5
GUS – Al. Wielkopolski	660	510	31,7	3,5
Al. Wielkopolski – Pomnik Lotnika	670	480	25,3	6,8
<i>Pomnik Lotnika – GUS</i>	<i>1015</i>	<i>450</i>	<i>37,2</i>	<i>2,8</i>
<i>GUS – Pomnik Lotnika</i>	<i>1275</i>	<i>985</i>	<i>31,6</i>	<i>4,0</i>
<i>Międzynarodowa – Przycz. Groch.</i>	<i>865</i>	<i>570</i>	<i>40,2</i>	<i>4,1</i>
<i>Przycz. Groch. – Międzynarodowa</i>	<i>1035</i>	<i>650</i>	<i>44,0</i>	<i>3,5</i>
<i>Pl. Na Rozdrożu – Saska</i>	<i>2745</i>	<i>1970</i>	<i>43,1</i>	<i>3,6</i>
<i>Saska – Pl. Na Rozdrożu</i>	<i>2630</i>	<i>1975</i>	<i>48,0</i>	<i>3,3</i>

Tabela 2

Prędkości przejazdu odcinków międzyprzystankowych w ciągu ul. Lipskiej w Krakowie				
Odcinek	Długość [m]		Prędkość przejazdu [km/h]	
	odcinka	pasa BUS	średnia	odchylenie standardowe
Lipska – Rzebika	615	530	41,5	6,3
Rzebika – Mały Płaszów	590	590	38,6	6,1
Mały Płaszów – Surzyckiego	280	240	23,6	4,0
Surzyckiego – Mały Płaszów	300	300	28,6	6,8
Mały Płaszów – Rzebika	620	620	31,7	9,5
Rzebika – Lipska	575	365	27,0	8,6

W wyniku zastosowania powyższych ograniczeń, uzyskano zbiór 17 odcinków, stanowiący podstawę do poszukiwania modelu opisującego wpływ długości odcinka na średnią prędkość przejazdu. W badaniach wykorzystano modele regresji prostej [6]. Najlepsze dopasowanie modelu regresji do wyników pomiarów uzyskano w przypadku zależności podwójnie odwrotnościowej:

$$\bar{v} = \frac{1}{0,017 + \frac{6,12}{L}} \quad (5)$$

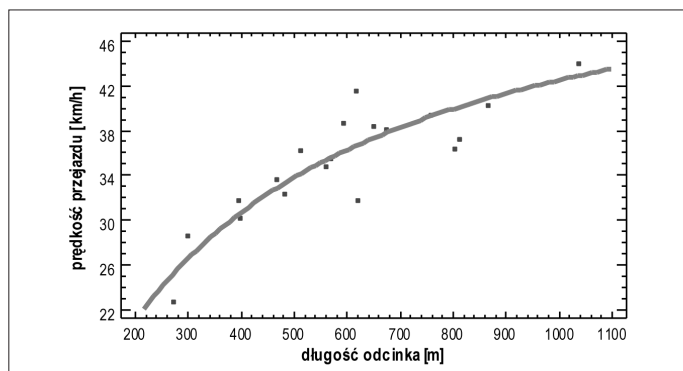
gdzie:

v – prędkość przejazdu odcinka międzyprzystankowego [km/h],

L – długość odcinka międzyprzystankowego [m].

Graficzną postać dopasowanego modelu przedstawiono na rysunku 3.

Model charakteryzuje się wysoką jakością dopasowania do wyników pomiarów. Świadczy o tym wysoka wartość współczynnika determinacji na poziomie 83 [%]. Oznacza to, że zaledwie 17 [%] zmienności wyników jest wywołanych innymi czynnikami zewnętrznymi. Potwierdziło się tym samym, że w przypadku pasów autobusowych w niewielkim stopniu obciążonych ruchem innych pojazdów – na prędkość (a więc i czas) przejazdu zdecydowanie największy wpływ ma długość odcinka, a inne wpływy mogą być pomijane. Powyższy model prędkości przejazdu, po uzupełnieniu danymi na temat czasu postoju, może być wykorzystywany w modelowaniu linii autobusowych.



Rys. 3. Model zależności średniej prędkości przejazdu odcinka międzyprzystankowego od długości tego odcinka

Zależność średniej prędkości komunikacyjnej od długości odcinka z pasem autobusowym

W ocenie strat czasu duże znaczenie odgrywa prędkość komunikacyjna, uwzględniająca zatrzymania na przystankach, wynikające z konieczności prowadzenia wymiany pasażerów, obejmujące także straty czasu ponoszone w oczekiwaniu na możliwość zajęcia przystanku oraz w oczekiwaniu na możliwość jego opuszczenia [7].

Analizę zależności średnich prędkości komunikacyjnych od długości odcinków międzyprzystankowych przeprowadzono na podstawie wyników pochodzących z tych samych odcinków co w przypadku prędkości przejazdu. I podobnie

jak poprzednio najlepsze dopasowanie uzyskano za pomocą modelu podwójnie odwrotnościowego:

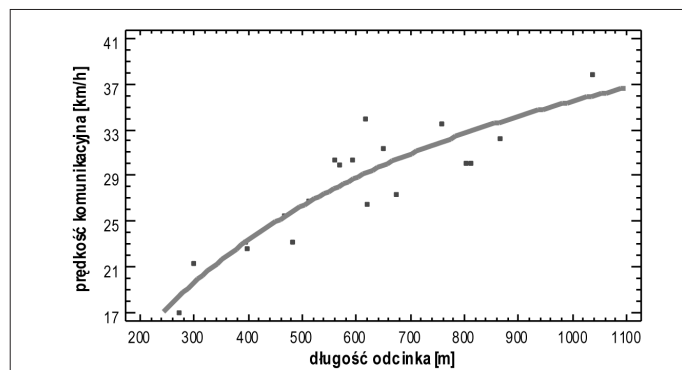
$$\bar{v}_{kom} = \frac{1}{0,018 + \frac{9,94}{L}} \quad (6)$$

gdzie:

v_{kom} – prędkość komunikacyjna [km/h],

L – długość odcinka międzyprzystankowego [m].

Graficzną postać dopasowanego modelu przedstawiono na rysunku 4.



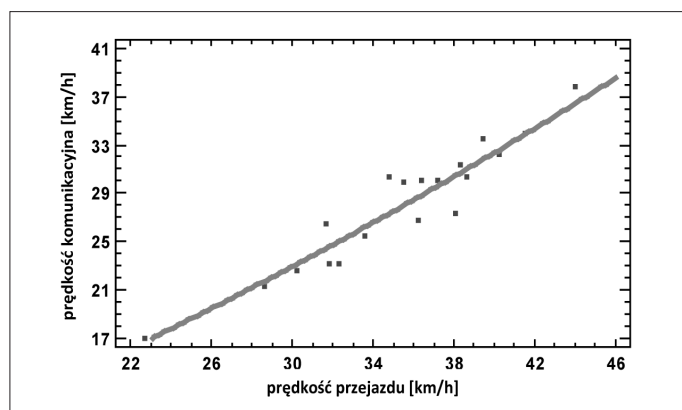
Rys. 4. Model zależności średniej prędkości komunikacyjnej na odcinku międzyprzystankowym od długości tego odcinka

Uzyskany model charakteryzuje się jeszcze lepszym dopasowaniem niż miało to miejsce w przypadku prędkości przejazdu. Współczynnik determinacji wynosi bowiem 86 [%].

W kontekście dotychczas uzyskiwanych wyników nie dziwi więc silny związek pomiędzy średnią prędkością komunikacyjną a średnią prędkością przejazdu. Wpływ postoju autobusu na przystanku na spadek prędkości jest możliwy do opisanego formułą (oznaczenia jak wyżej) o bardzo wysokim stopniu dopasowania ($R^2 = 93$ [%]):

$$\bar{v}_{kom} = \frac{1}{-0,007 + \frac{1,53}{v}} \quad (7)$$

Graficzną postać dopasowanego modelu przedstawia rysunek 5.



Rys. 5. Model zależności średniej prędkości komunikacyjnej na odcinku międzyprzystankowym od długości tego odcinka.

Możliwości uzyskiwania prędkości normatywnych w codziennej obsłudze linii

W praktyce, nieczęsto się zdarza, że potencjalne możliwości pasów autobusowych są w pełni wykorzystywane. Wynika to głównie z występowania wspomnianych wcześniej czynników zakłócających, szczególnie dokuczliwych na ciągach ze skrzyżowaniami z sygnalizacją świetlną, gdzie atrakcyjność pasów autobusowych jest ściśle powiązana z sytuacją ruchową na wlotach i sprawnością priorytetów dla autobusów. W takich warunkach osiągnięcie wartości normatywnych prędkości przejazdu będzie możliwe jedynie w pojedynczych przypadkach. Aby w ogóle było możliwe, należy dążyć do zmniejszania prawdopodobieństwa występowania zatrzymań autobusów na wlotach skrzyżowań (z wykorzystaniem systemów śledzenia pojazdów). Jeżeli jednak takie zatrzymania następują – należy podejmować działania zmierzające do zmniejszenia długości kolejek przed autobusami na wlotach skrzyżowań, bądź poprzez skracanie odcinków, z których mogą korzystać pojazdy skręcające w prawo, bądź poprzez wydzielanie dodatkowych pasów do skrętu – już poza pasami autobusowymi.

Na odcinkach między skrzyżowaniami należy przede wszystkim dbać o podkreślenie rangi pasów autobusowych. Jeżeli przy pasie autobusowym istnieje możliwość parkowania na chodniku, to konieczność zapewnienia dostępu do tych miejsc zmusza organizatora ruchu do otwarcia pasa dla innych pojazdów, niekiedy na znacznej długości. Już sama świadomość odbywania manewrów innych pojazdów na pasie autobusowym skłania kierowców autobusów do wolniejszej jazdy, a ich intensywność ma istotne znaczenie dla ogólnej sprawności pasów.

Nie bez znaczenia jest też sama liczba pojazdów dopuszczonych do ruchu na całej długości pasów autobusowych. Na ogół nie stosuje się ograniczeń dostępności dla żadnych grup pojazdów transportu zbiorowego, jednak należy mieć na względzie, że jeśli będzie ich zbyt dużo, może dochodzić do zjawiska autokongestii, szczególnie w obrębie przystanków. W tym kontekście konieczne jest zapewnienie priorytetowej roli pojazdów miejskiej komunikacji zbiorowej oraz kontrola liczby wydawanych zezwoleń dla przewoźników prywatnych. Z kolei kwestia dopuszczenia taksówek (czyli pojazdów publicznego transportu indywidualnego) do ruchu po pasach – mimo powszechnej praktyki, powinna być zawsze analizowana, z uwzględnieniem potencjalnej liczby tych pojazdów.

Należy także w pełni świadomie podejmować decyzje o dopuszczaniu na pasy autobusowe pojazdów innych niż transportu publicznego, szczególnie pojazdów powolnych, w tym rowerów, które nawet na krótkich odcinkach nie osiągają prędkości autobusów. Już sama konieczność wyprzedzania takich pojazdów wpływa na zmniejszenie prędkości chwilowej, a w warunkach wzmożonego ruchu na pasach sąsiednich – wyprzedzanie często nie jest w ogóle możliwe.

Możliwość zbliżenia się do wartości normatywnych jest więc w pewnym sensie zależna od stopnia determinacji zarządzającego ruchem w zapewnianiu autobusom możliwie najlepszych warunków ruchu. Niestety, często występuje podejście, w którym każda, nawet niewielka oszczędność

czasu wynikająca z korzystania z wydzielonego pasa zamiast przejazdu po pasie ogólnodostępnym – jest uznawana za sukces. Punktem odniesienia nie są wówczas możliwości funkcjonalne rozwiązań kompletnych, tylko stan obecny, często tożsamy ze stanem zapaści obsługi autobusowej. Często jest to za mało, aby przyciągnąć nowych pasażerów, gdyż oszczędności czasu nie rekompensują wygód podróży odbywanych samochodem. Oczywiście, zdarzają się przypadki, gdy jest to jedyna ewentualność, ale częściej – brakuje jednak determinacji.

Podsumowanie

Skuteczność pasów autobusowych jest ściśle uzależniona od skali i nasilenia czynników zakłócających przejazd autobusów. Należy więc dążyć do eliminacji przypadków (a przynajmniej ograniczania prawdopodobieństwa ich występowania), w których prędkość przejazdu autobusu jest wymuszona ruchem innych pojazdów lub obniżana działaniem systemu sterowania nie dostosowanego do ich potrzeb.

Pasy autobusowe, na których możliwe jest osiągnięcie prędkości zbliżonych do ruchu swobodnego, już dzisiaj istnieją w polskich miastach i będą się nadal pojawiały jako odpowiedź na stale rozlewający się zakres oddziaływania kongestii, spowodowanej głównie ruchem samochodowym. Na etapie planowania takich rozwiązań konieczna jest wiedza na temat spodziewanych efektów ich wdrożenia. Nie da się tego osiągnąć bez wiarygodnego zamodelowania czasu przejazdu autobusów. W tym celu można wykorzystać zaproponowany model zależności prędkości przejazdu od długości odcinka międzyprzystankowego. Z kolei model opisujący wpływ długości odcinka na wartość średniej prędkości komunikacyjnej może być wykorzystywany do oceny obecnych i potencjalnych strat czasu autobusów. Dalsze analizy prędkości przejazdu po pasach autobusowych będą prowadzone również dla odcinków miejskich, na których wpływ ruchu innych pojazdów jest znaczący.

Literatura

1. Krych A.: *Szybki i szybszy tramwaj – ewaluacja idei i aplikacji na przykładzie Poznania*. Materiały konferencji „Transport publiczny w Warszawie”. Warszawa 2005.
2. Vuchic V. R.: *Urban Transit. Operations, Planning and Economics*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey 2005.
3. Krych A.: *Straty i koszty strat czasu w komunikacji publicznej*. Materiały III Konferencji „Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego”. SITK, Poznań 2003, s. 229–244.
4. Sambor A. z zespołem: *Założenia komputerowego systemu do techniczno-ekonomicznej oceny sprawności transportu miejskiego*. IDiM Politechniki Warszawskiej 1987.
5. Bauer M.: *Wpływ infrastruktury ulic na funkcjonowanie komunikacji autobusowej*, Praca doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 2008.
6. Dobosz M.: *Wspomagana komputerowo statystyczna analiza wyników badań*. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2001.
7. Bauer M.: *Wykorzystanie techniki GPS do poprawy jakości komunikacji miejskiej*. Biuletyn Izby Gospodarczej Komunikacji Miejskiej.
8. *Highway Capacity Manual 2000*. Transportation Research Board, 2000.