

RAFAŁ GRZEGORZEWSKI

mgr inż., Zarząd Dróg Miejskich
i Komunikacji Publicznej
w Bydgoszczy, e-mail:
zarzad@zdmikp.bydgoszcz.pl

Efektywność eksploatacyjna, ruchowa i ekonomiczna wydzielonych pasów dla autobusów¹

Streszczenie: Wydzielone pasy dla autobusów to jedna z najskuteczniejszych metod nadawania priorytetu dla autobusowego transportu publicznego. Działania te dają zazwyczaj poczucie płynących korzyści, jednakże najczęściej bez znajomości ich wymiernej postaci. Dlatego też podjęto próbę skwantyfikowania tych efektów. Efektywność wdrożonych i planowanych do wdrożenia wydzielonych pasów dla autobusów oparto na inwestycjach w Bydgoszczy. Analizowano cztery następujące czynniki: przepustowość ciągu komunikacyjnego; bilans ekonomiczny kosztów eksploatacyjnych w transporcie publicznym (oszczędności) i kosztów inwestycyjnych oraz utrzymaniowych infrastruktury drogowej; wzrost prędkości eksploatacyjnej i komunikacyjnej oraz wskaźników punktualności; straty czasu pasażerów. Analizę oparto na wynikach badań parametrów eksploatacyjnych przed i po uruchomieniu wydzielonych pasów dla autobusów (z wykorzystaniem systemu ITS), badania potoków pasażerskich i wskaźników punktualności, własny, jak też adaptowany matematyczny model ruchu potoku pojazdów w warunkach miejskich oraz danych finansowych operatora transportu. Na tej podstawie opracowano metodę i obliczono efekty zrealizowanych pasów dla autobusów oraz prognozę efektów dla inwestycji planowanych. Wykazano, że efektywność wydzielonych pasów dla autobusów można wyrazić w sposób wymierny tak pod względem ekonomicznym, eksploatacyjnym, jak też ruchowym. Wskazano, że takie podejście może być narzędziem wspomagającym w procesie optymalnego planowania inwestycji w postaci wydzielonych pasów dla autobusów. Ponadto pokazano możliwość powiązania danych gromadzonych w systemie ITS do wnioskowania statystycznego w zakresie optymalizacji parametrów eksploatacyjnych w transporcie publicznym.

Słowa kluczowe: transport miejski, priorytety dla transportu zbiorowego, wydzielone pasy autobusowe

Wprowadzenie

Wydzielone pasy dla autobusów to jedna z najskuteczniejszych metod nadawania priorytetu dla autobusowego transportu publicznego. Wdrażanie tego rozwiązania wymaga jednak określonej przestrzeni, jak też poniesienia, niejednokrotnie znacznych, nakładów finansowych. Wskazane zatem jest, aby takie działanie zostało poprzedzone stosowną, wieloaspektową analizą, pozwalającą określić korzyści z niego płynące. Budowa, czy też wyznaczanie w istniejącej infrastrukturze pasów dla autobusów, ma miejsce w wielu dużych miastach w Polsce. Działania te dają zazwyczaj poczucie płynących korzyści, jednakże bez znajomości ich wymiernej postaci. Niezwykle rzadko są poparte analizą matematyczną. Stąd też niniejsze opracowanie przedstawia sposób skwantyfikowania tych korzyści w kilku, najważniejszych dla funkcjonowania transportu publicznego,

obszarach. Zbadano i obliczono wpływ uruchomionych w Bydgoszczy wydzielonych pasów dla autobusów na następujące czynniki:

- przepustowość ciągu komunikacyjnego,
- bilans ekonomiczny kosztów inwestycji wraz z jej późniejszym utrzymaniem i oszczędności eksploatacyjne w transporcie publicznym,
- prędkość i punktualność linii komunikacyjnej,
- straty czasu pasażerów.

W Bydgoszczy funkcjonuje obecnie 7 km wydzielonych pasów dla autobusów. Najważniejsze z nich to:

- ciąg ulic Paderewskiego – Staszica – 3 Maja (0,65 km),
- ciąg ulic Wojska Polskiego i Zdobywców Wału Pomorskiego (0,75 km),
- ulica Jana Pawła II (0,65 km),
- ulica Wyszyńskiego (1,50 km),
- ciąg ulic Warszawskiej i Zygmunta Augusta (0,63 km).

Do roku 2019 planuje się liczbę tę zwiększyć do 15,5 km. Najważniejsze inwestycje w tym zakresie są lub będą zrealizowane w następujących ciągach ulic:

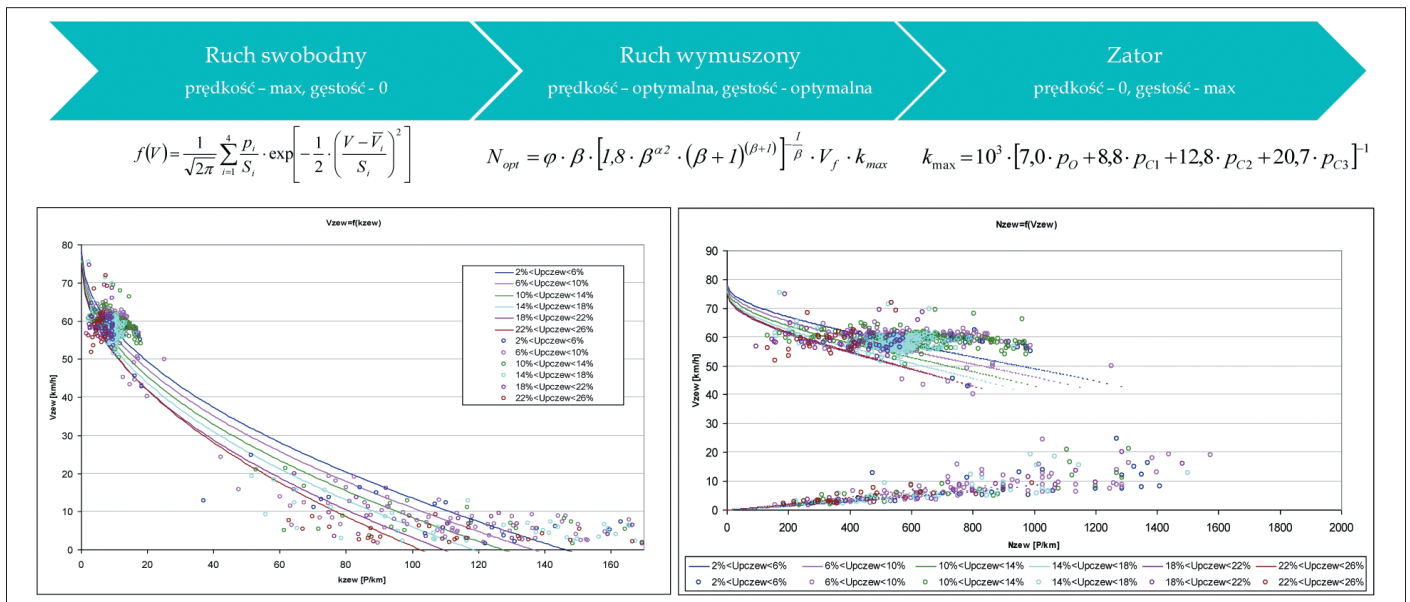
- ulica Kujawska (0,50 km),
- ciąg ulic Kolbego i Grunwaldzkiej (4,40 km),
- ulica Wały Jagiellońskie (0,40 km),
- ulica Gdańska (3,0 km).

Efektywność ruchowa

Wydzielając pasy dla autobusów w Bydgoszczy w istniejących ciągach komunikacyjnych, czy to poprzez ich dobudowanie, czy też wyznaczanie za pomocą środków organizacji, kierowano się zasadą nie ograniczania przepustowości ciągu ogólnodostępnego. Ponadto, korzystając z wcześniejszych badań i analiz w dziedzinie modelowania ruchu drogowego, wiadome było, że wprowadzenie selekcji poszczególnych grup rodzajowych spowoduje podniesienie przepustowości ciągu ogólnodostępnego.

Z przeprowadzonych wcześniej badań własnych na ciągach ulic dwujezdniowych w Bydgoszczy oraz na podstawie badań dla ulic jednojezdniowych²⁾ wyznaczono zależności matematyczne między prędkością, gęstością i natężeniem ruchu, wprowadzając dodatkową zmienną, tj. udział pojazdów ciężkich, do których zaliczono także autobusy. Zjawisko to zbadano dla stanów ruchu swobodnego, nieswobodnego i stanu zatoru^{1) 2) 3)}. Szczegółowy opis budowy modeli matematycznych zawarto w przytoczonych publikacjach. Podsumowanie zobrazowano na rysunku 1.

¹ ©Transport Miejski i Regionalny, 2019.



Rys. 1. Zależności między prędkością, gęstością i natężeniem ruchu w zależności od udziału w potoku pojazdów ciężkich (w tym autobusów)

Źródło: opracowanie własne

Prędkości potoku pojazdów w warunkach przepustowości, związane funkcyjnie z natężeniem maksymalnym, wynika ze splotu rozkładów prędkości poszczególnych grup rodzajowych, które to prędkości są niższe dla grupy rodzajowej pojazdów ciężkich. Stąd też natężenie maksymalne (przepustowość) spada wraz ze wzrostem udziału pojazdów ciężkich w potoku pojazdów. Wartości te obliczono zarówno dla ulic dwujezdniowych, jak i jednojezdniowych^{1) 2)}. Wyniki pokazano w tabeli 1.

Tabela 1

Parametry ruchowe potoku w warunkach przepustowości, w zależności od udziału w potoku pojazdów ciężkich (w tym autobusów)			
JEZDNIA JEDNOKIERUNKOWA			
- struktura rodzajowa ściśle zależna między pasami ruchu			
- wskaźniki zapotrzebowania i możliwości na wyprzedzanie ściśle zależne między pasami ruchu			
Pc [%]	k _{opt} [P/km]	Q _{opt} [P/h]	V _{opt} [km/h]
wewnętrzny pas ruchu			
0-4	40,0	1905,6	47,5
4-8	38,7	1762,2	46,7
zewewnętrzny pas ruchu			
4-8	37,7	1472,1	39,4
8-12	36,1	1372,1	38,5
12-16	34,2	1273,9	38,1
JEZDNIA DWUKIERUNKOWA			
- struktura rodzajowa niezależna między pasami ruchu			
- wskaźniki zapotrzebowania i możliwości na wyprzedzanie zależne od warunków ruchu na pasie dla ruchu przeciwnego			
Warunki ruchu	40/60	50/50	60/40
Pc = 0-4%			
V _{opt} [km/h]	38,3	38,6	41,0
Q _{opt} [P/h]	1436	1448	1558
k _{opt} [P/km]	38,6	38,7	39,2
Pc = 4-8%			
V _{opt} [km/h]	37,2	38,5	39,6
Q _{opt} [P/h]	1328	1386	1438
k _{opt} [P/km]	36,8	37,1	37,4
Pc = 8-12%			
V _{opt} [km/h]	37,5	37,3	40,6
Q _{opt} [P/h]	1275	1272	1409
k _{opt} [P/km]	35,1	35,1	35,8

Wydzielenie z ciągu ogólnodostępnego skutkować będzie wzrostem przepustowości tego ciągu. Na podstawie opracowanych zależności oraz znajomości udziału pojazdów ciężkich w potoku, przed i po wydzieleniu z potoku autobusów, można oszacować wzrost przepustowości ciągu ogólnodostępnego. Podczas analiz brano także pod uwagę zależności między udziałem pojazdów ciężkich na ciągu ulicy dwupasowej jednokierunkowej, gdyż parametry te są ze sobą w takim przekroju skorelowane. W wyniku analiz otrzymano wyniki, które przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Szacowany, procentowy, wzrost przepustowości pasów dla ruchu ogólnodostępnego, po wydzieleniu z nich autobusów	
Ciąg komunikacyjny	Wzrost przepustowości pasa dla ruchu indywidualnego
ulice: Paderewskiego, Staszica, 3 Maja	15,50%
ulica Jana Pawła II	9,46%
ulica Kujawska	4,76%
ulica Wały Jagiellońskie	8,81%
ulice: Kolbego, Grunwaldzka	3,20%
ulica Gdańska	1,68%

Jak wynika z analiz, wzrost przepustowości przeanalizowanych ciągów komunikacyjnych (pasów ogólnodostępnych), po wydzieleniu z niego autobusów, wynosi od 1,68 do 15,50%. W warunkach miejskich są to wzrosty bardzo istotne. Oczywiście z punktu widzenia osiągnięcia celu głównego, jakim było nadanie priorytetu dla transportu publicznego, osiągnięcie wzrostu przepustowości ciągu ogólnodostępnego było jedynie wartością dodaną, choć istotną.

Efektywność ekonomiczna

Analizując efektywność ekonomiczną budowy wydzielonych pasów dla autobusów, brano pod uwagę dwie podstawowe grupy kosztów:

- redukcję kosztów eksploatacyjnych związanych ze wzrostem prędkości i redukcją taboru autobusowego,
- nakłady inwestycyjne i koszty utrzymania wybudowanej infrastruktury drogowej.

Wydzielenie pasa dla autobusów skutkuje wzrostem prędkości komunikacyjnej, a w efekcie prędkości eksploatacyjnej danej linii autobusowej. Wzrost prędkości eksploatacyjnej pozwala z kolei wykonać daną pracę przewozową w krótszym czasie, czyli zredukować koszty pracy. Wyznaczono zatem koszty, które w sposób bezpośredni i liniowy zależą od prędkości eksploatacyjnej. Są to wynagrodzenia bezpośrednie kierowców oraz narzuty na wynagrodzenia. Ta grupa kosztów, w przypadku bydgoskiego operatora, stanowi 31% wszystkich kosztów. Stąd też można przyjąć, że ta część kosztów eksploatacyjnych spadnie proporcjonalnie do wzajemnej relacji prędkości eksploatacyjnej przed i po uruchomieniu pasa dla autobusów i związanej z tym zmianą rozkładu jazdy.

Wskaźnik redukcji kosztów związanych ze wzrostem prędkości eksploatacyjnej wyniesie:

$$Rke = \left(1 - \frac{Ve_p}{Ve_k}\right) \times 0,31$$

gdzie:

- Rke – wskaźnik redukcji kosztów,
- Ve_p – prędkość eksploatacyjna przed zmianą [km/h],
- Ve_k – prędkość eksploatacyjna po zmianie [km/h].

Stąd wartość kosztów zredukowanych:

$$Kred_e = Kp \times Rke$$

gdzie:

- $Kred_e$ – wartość kosztów zredukowanych (oszczędności) [zł],
- Kp – koszty eksploatacyjne przed zmianą [zł].

Druga grupa kosztów eksploatacyjnych, która ulega redukcji, to koszty związane z redukcją taboru obsługującego daną linię. Liczba autobusów, niezbędna do realizacji określonego rozkładu jazdy na danej linii komunikacyjnej, jest uzależniona od dwóch zasadniczych czynników, tj. rozkładowej częstotliwości kursowania oraz prędkości eksploatacyjnej. Uruchomienie wydzielonego pasa dla autobusów, skutkuje wzrostem tej prędkości i może skutkować redukcją liczby jednostek obsługujących daną linię. W odróżnieniu od kosztów pracy, które, w przypadku dużego operatora autobusowego, maleją w przybliżeniu liniowo wraz ze wzrostem prędkości eksploatacyjnej, tak w przypadku taboru redukcja ma charakter skokowy. Wynika to stąd, że pewna stała liczba jednostek taborowych może obsługiwać daną linię w pewnym zakresie prędkości eksploatacyjnej. Dopiero przejście do kolejnego zakresu prędkości skutkuje redukcją taboru o jedną sztukę. W tej grupie kosztów podstawowe znaczenie mają: amortyzacja, ubezpieczenia, podatki od środków transportu oraz koszty badań i obsługi technicznej. Koszty te, w przypadku bydgoskiego operatora, stanowią 16% wszystkich kosztów.

Wskaźnik redukcji kosztów związanych z redukcją taboru wyniesie:

$$Rkt = \left(1 - \frac{Nt_k}{Nt_p}\right) \times 0,16$$

gdzie:

- Rkt – wskaźnik redukcji kosztów,
- Nt_k – liczba taboru po zmianie [szt.],
- Nt_p – liczba taboru przed zmianą [szt.].

Stąd wartość kosztów zredukowanych:

$$Kred_t = Kp \times Rkt$$

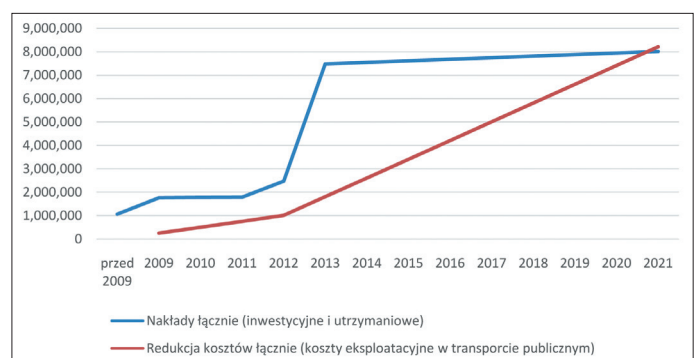
gdzie:

- $Kred_t$ – wartość kosztów zredukowanych (oszczędności) [zł],
- Kp – koszty eksploatacyjne przed zmianą [zł].

Po drugiej stronie bilansu ekonomicznego znajdują się koszty związane z realizacją inwestycji oraz koszty jej utrzymania. Są to koszty ściśle związane z kosztorysem budowlanym, który jest indywidualny dla każdej inwestycji i zależy od poziomu jej skomplikowania. Podobnie rzecz się ma z kosztami jej utrzymania. Sposoby obliczania tych kosztów są powszechną wiedzą w budownictwie, stąd wątek ten nie będzie tu rozwijany.

W bilansie ekonomicznym nakład inwestycyjny występuje jednorazowo, natomiast zredukowane roczne koszty eksploatacyjne w transporcie publicznym, jak też konieczne do poniesienia koszty utrzymaniowe, występować będą corocznie. Znając zatem poziom redukcji kosztów eksploatacyjnych w transporcie publicznym, można wyznaczyć okres, po którym nastąpi zbilansowanie nakładów inwestycyjnych. Analizę taką przeprowadzono dla inwestycji (nakłady) i linii autobusowych (redukcja kosztów) w Bydgoszczy. Wyniki analiz przedstawia tabela 3 i rysunek 2.

Jak wynika z analizy, nakłady inwestycyjne poniesione do roku 2013 zostaną zbilansowane redukcją kosztów eksploatacyjnych w transporcie publicznym już w roku 2021. Oczywiście najszybszy zwrot nakładów inwestycyjnych nastąpi w przypadku realizacji inwestycji na ciągu komunikacyjnym, na którym częstotliwość kursowania transportu publicznego jest wysoka, przy jednoczesnym występowa-



Rys. 2. Bilans nakładów inwestycyjnych i utrzymaniowych oraz redukcji kosztów eksploatacyjnych na liniach autobusowych – inwestycje zrealizowane

Źródło: opracowanie własne

Redukcja kosztów eksploatacyjnych linii – inwestycje realizowane					
Redukcja kosztów w związku ze wzrostem prędkości eksploatacyjnej					
Numer linii	52	64	65	68	69
Prędkość przed	14,0	15,6	18,8	13,7	20,3
Prędkość po	14,9	15,7	19,2	14,1	20,4
Redukcja kosztów	0,0193	0,0020	0,0067	0,0091	0,0016
Roczny koszt eksploatacyjny przed	4 152 127,28 zł	4 255 624,86 zł	6 337 144,93 zł	3 895 652,56 zł	16 397 957,46 zł
Roczny koszt eksploatacyjny po	4 071 871,40 zł	4 246 950,97 zł	6 294 897,30 zł	3 860 287,77 zł	16 372 235,17 zł
Redukcja kosztów [zł]	80 255,88 zł	8 673,89 zł	42 247,63 zł	35 364,79 zł	25 722,29 zł
Redukcja kosztów w związku z redukcją taboru					
Numer linii	52	64	65	68	69
Liczba autobusów przed	6,0	9,0	10,0	8,0	23,0
Liczba autobusów po	5,0	8,0	8,0	7,0	21,0
Redukcja kosztów	0,0233	0,0156	0,0280	0,0175	0,0122
Roczny koszt eksploatacyjny przed	4 152 127,28 zł	4 255 624,86 zł	6 337 144,93 zł	3 895 652,56 zł	16 397 957,46 zł
Roczny koszt eksploatacyjny po	4 055 244,31 zł	4 189 426,25 zł	6 159 704,87 zł	3 827 478,64 zł	16 198 330,15 zł
Redukcja kosztów [zł]	96 882,97 zł	66 198,61 zł	177 440,06 zł	68 173,92 zł	199 627,31 zł

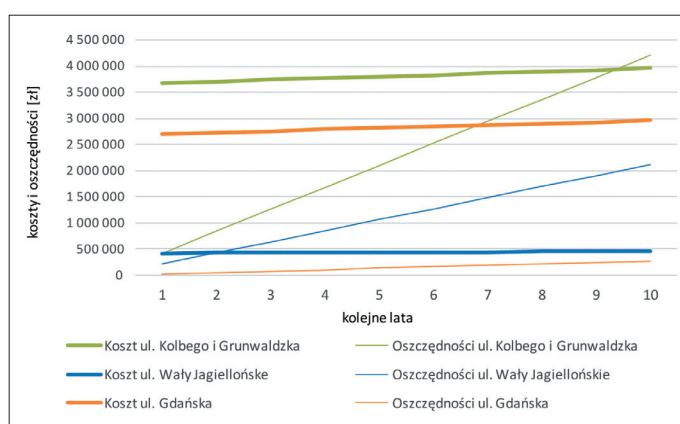
niu stanów kongestii, natomiast nakłady inwestycyjne relatywnie niskie (np. poprzez wykorzystanie środków organizacji ruchu lub wykorzystanie pasa rozdzielającego).

Odrębną analizę przeprowadzono dla inwestycji planowanych do realizacji w latach 2018 i 2019. Analizie poddano trzy inwestycje: ciąg ulic Kolbego i Grunwaldzkiej, ulicę Wały Jagiellońskie, ulicę Gdańską. Każdy z ww. przypadków charakteryzuje się odmiennym bilansem ekonomicznym. Pierwszy przykład (ciąg ulic Kolbego i Grunwaldzkiej) to budowa wydzielonego pasa dla autobusów o długości 4,4 km, dedykowanego liniom autobusowym kursującym z wysoką częstotliwością. Zbilansowanie nakładów inwestycyjnych nastąpi więc (co widać na rys. 3) dopiero po 9 latach (ze względu na wysoki koszt inwestycji), lecz roczny poziom redukcji kosztów eksploatacyjnych w transporcie publicznym jest – spośród analizowanych przykładów – największy. Drugi przypadek to inwestycja o relatywnie niewielkim koszcie (wykorzystanie pasa rozdzielającego), lecz ze względu na lokalizację w ścisłym centrum miasta, bardzo wysoką częstotliwością kursowania autobusów i istotnym wzroście prędkości eksploatacyjnej. Stąd inwestycja ta bilansuje się już po jednym roku eksploatacji. Trzeci przypadek (ulica Gdańska) to relatywnie droga inwestycja dedykowana terenom rekreacyjnym i ukierunkowana głównie na incydentalną obsługę imprez masowych. Stąd nie oczekiwano szybkiego zwrotu z tej inwestycji (odrębny cel ruchu i społeczny).

Bilans ekonomiczny dla planowanych inwestycji przedstawiono na rysunku 3.

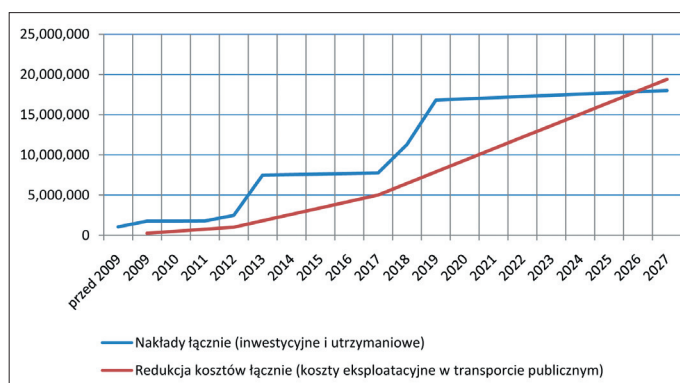
Całkowity bilans ekonomiczny uwzględniający inwestycje już poniesione i planowane przedstawiono na rysunku 4. Jak widać, wszystkie nakłady zostaną zbilansowane do roku 2026, po czym nastąpi okres czerpania korzyści z redukcji kosztów eksploatacyjnych w transporcie publicznym.

Przedstawiony tu sposób przeprowadzenia analizy ekonomicznej może być w stosunkowo prosty sposób wykorzystywany, gdyż nie wymaga prowadzenia specjalnych badań, lecz jedynie znajomości zmiany wartości prędkości eksploatacyjnej, zmiany liczby dysponowanego do ruchu taboru oraz poziomu nakładów inwestycyjnych i utrzymaniowych.



Rys. 3. Bilans nakładów inwestycyjnych i utrzymaniowych oraz redukcji kosztów eksploatacyjnych na liniach autobusowych – inwestycje w trakcie realizacji

Źródło: opracowanie własne



Rys. 4. Całkowity bilans nakładów inwestycyjnych i utrzymaniowych oraz redukcji kosztów eksploatacyjnych na liniach autobusowych – inwestycje zrealizowane i będące w trakcie realizacji

Źródło: opracowanie własne

Straty czasu pasażerów transportu publicznego

Występujące stany zatoru skutkują stratami czasu pasażerów transportu publicznego. Czynnikiem ten jest o tyle bardziej istotny, o ile relacja między liczbą pasażerów transportu zbiorowego i uczestnikami transportu indywidualnego jest większa. Dobrym przykładem takiej relacji jest ulica Kujawska w Bydgoszczy, gdzie pojazdy transportu publicznego stanowią niecałe 10% pojazdów w potoku, ale przewożą około 90% osób na tym ciągu. Występujący tu

w godzinach szczytu komunikacyjnego permanentny stan zatoru i duży potok pasażerski, skutkuje stratami czasu pasażerów transportu publicznego na poziomie 606 godzin w godzinie szczytu.

Analizy straty czasów pasażerów zostały przeprowadzone w oparciu o wyniki badań potoków pasażerskich na poszczególnych liniach autobusowych oraz redukcję czasów przejazdu. Straty czasów pasażerów transportu publicznego wyznaczano z zależności:

$$Ts = Np \cdot ts$$

gdzie:

T_s – straty czasu pasażerów na danym ciągu w godzinie szczytu [h],

N_p – liczba pasażerów na danym ciągu w godzinie szczytu,

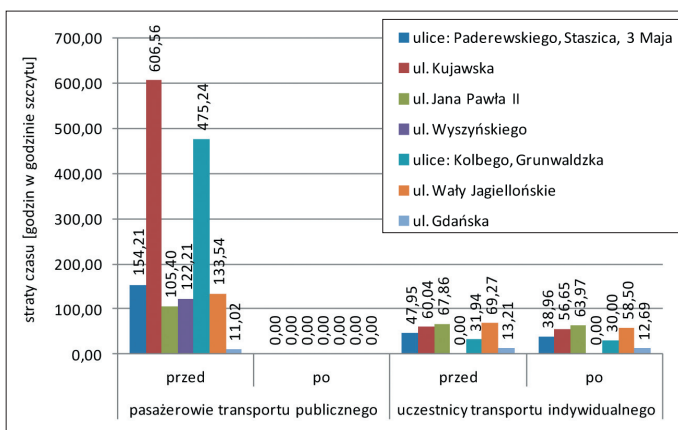
t_s – strata czasu pojedynczego pasażera [h].

Badania potoków pasażerskich przeprowadzono na każdej linii autobusowej korzystającej z ciągu komunikacyjnego, na którym wydzielono lub planuje się wydzielić pas dla autobusów. Stratę czasu pojedynczego pasażera określono jako różnicę między rzeczywistym czasem przejazdu analizowanego odcinka a czasem przejazdu w warunkach ruchu swobodnego. Analizę przeprowadzono dla godziny szczytu, stąd też sumę strat czasów pasażerów wyrażono w [godzinach / godzinie szczytu].

Segregacja struktury rodzajowej na poszczególnych pasach ruchu (wydzielenie autobusów) powoduje redukcję czasów przejazdu także na pasie przeznaczonym dla pojazdów indywidualnych. Analizę tej redukcji oparto o pomiar napełnień pojazdów indywidualnych oraz na analizie wzrostu prędkości potoku pojazdów indywidualnych związaną ze wzrostem gęstości ruchu. Wzrost gęstości ruchu spowodowany jest procentowym zmniejszeniem udziału w potoku grupy rodzajowej pojazdów ciężkich (autobusów).

Straty czasów kierowców i pasażerów transportu indywidualnego obliczano, uwzględniając prędkość potoku przy danej gęstości ruchu [km/h], wzrost prędkości związany ze spadkiem udziału pojazdów ciężkich [km/h] i różnicę czasu przejazdu związaną ze wzrostem prędkości potoku pojazdów [h].

Zestawienie start czasów przed i po wyznaczeniu wybranych wydzielonych pasów dla autobusów zestawiono w tabeli 4 i na rysunku 5.



Rys. 5. Straty czasu pasażerów transportu publicznego i uczestników transportu indywidualnego
Źródło: opracowanie własne

Tabela 4

	Straty czasu pasażerów transportu publicznego i uczestników transportu indywidualnego			
	Straty czasu uczestników ruchu [h/hs]			
	pasażerowie transportu publicznego		uczestnicy transportu indywidualnego	
	przed	po	przed	po
	[godzin w godzinie szczytu]		[godzin w godzinie szczytu]	
ulice: Paderewskiego, Staszica, 3 Maja	154,21	0,00	47,95	38,96
ul. Kujawska	606,56	0,00	60,04	56,65
ul. Jana Pawła II	105,40	0,00	67,86	63,97
ul. Wyszyńskiego	122,21	0,00	-	-
ulice: Kolbego, Grunwaldzka	475,24	0,00	31,94	30,00
ul. Wały Jagiellońskie	133,54	0,00	69,27	58,50
ul. Gdańska	11,02	0,00	13,21	12,69

Punktualność pojazdów transportu publicznego

Wydzielone pasy dla autobusów mają wpływ na wzrost wskaźników punktualności. Zasadniczy wpływ na niepunktualność kursowania transportu publicznego ma niestabilność warunków ruchu w tych samych interwałach czasowych w różne dni. Niestabilność tę można próbować niwelować za pomocą środków sterowania ruchem, jednakże działania te, optymalizując ruch obszarowy, mogą powodować w określonych warunkach nawet pogłębienie się problemu niestabilności czasów przejazdu na danym ciągu. Kolejnym istotnym i niekorzystnym czynnikiem są czasowe wahania natężenia i gęstości ruchu.

Powszechny jest pogląd, że poprawę wskaźników punktualności uzyska się poprzez zawężenie interwałów czasowych, w których obowiązują określone, rozkładowe czasy przejazdów. Teza ta okazuje się, co do zasady, jednak nieprawdziwa. Owszem, interwał czasowy musi być dobrany optymalnie co do długości, jednak jego nadmierne zawężenie nie będzie skutkowało poprawą stabilności czasów przejazdu w poszczególne dni w tym samym, wąskim przedziale czasowym, a tym samym poprawą punktualności. W celu poparcia tego wniosku przeprowadzono badanie czasów przejazdu wybranego odcinka badawczego agregując je w interwały godzinne i interwały 15-minutowe. Wyniki analizy pokazały, że zawężenie interwału czasowego nie dało poprawy stabilności czasów przejazdów, a w konsekwencji nie da poprawy punktualności. Wyniki tego eksperymentu pokazano na rysunku 6.

Jak widać na rysunku, niestabilność (niepowtarzalność) czasów przejazdu wystąpiła zarówno w przypadku interwałów godzinnych, jak i 15-minutowych. Potwierdziła to także przeprowadzona analiza korelacji czasów przejazdu w różnych dniach (współczynniki determinacji dla prostoliniowej funkcji regresji wyniosły odpowiednio: dla interwałów godzinnych – 0,190, dla interwałów 15-minutowych – 0,012).

Po oddaniu do eksploatacji wydzielonych pasów dla autobusów i po zmianie rozkładów jazdy uwzględniających wzrost prędkości eksploatacyjnej, przeprowadzono analizy punktualności na liniach komunikacyjnych korzystających z tych



Rys. 6. Badanie czasów przejazdu wybranego odcinka badawczego stosując interwały godzinne i interwały 15-minutowe

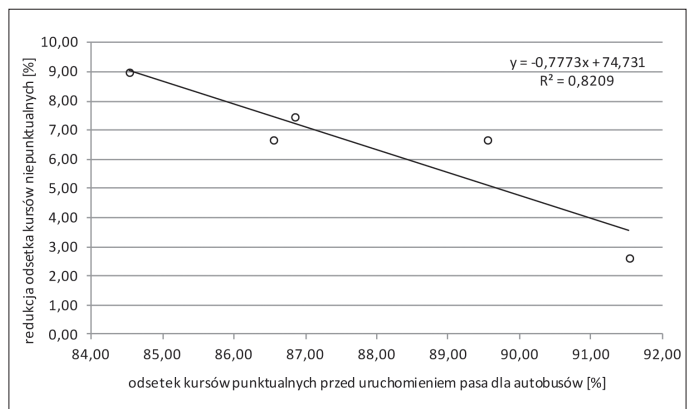
Źródło: opracowanie własne

pasów. Badania punktualności przeprowadzono z wykorzystaniem Inteligentnego Systemu Transportowego dla Komunikacji Miejskiej w Bydgoszczy (ITS). Badania polegały na automatycznym (za pomocą specjalnego modułu przeznaczonego do badania punktualności) porównywaniu różnicy między rzeczywistą i rozkładową godziną przejazdu w zdefiniowanych w systemie wirtualnych punktach pomiarowych. Wyniki badań następnie poddano analizie statystycznej. Pokazały one, że ustabilizowanie warunków ruchu na wszystkich analizowanych liniach autobusowych spowodowało zmniejszenie odsetka kursów niepunktualnych, w niektórych przypadkach redukując ten odsetek nawet dwukrotnie. Wyniki przedstawiono w tabeli 5.

Poprawa punktualności na danej linii jest uzależniona nie tylko od wprowadzenia do eksploatacji wydzielonego pasa dla autobusów, ale także od innych czynników, takich jak długość linii, warunki ruchu na pozostałej części trasy itd. Dlatego też, w ocenie autora, nie można wskazać ścisłych zależności między parametrami wydzielonego pasa dla autobusów a skalą zmiany wskaźników punktualności. Wysunięto jednak tezę, że uzyskana poprawa punktualności będzie tym większa, im odsetek kursów niepunktualnych na danej linii, przed uruchomieniem wydzielonego pasa dla autobusów, jest większy. Przeprowadzono analizę dla pięciu linii autobusowych w Bydgoszczy i stwierdzono, że im niższy odsetek kursów niepunktualnych przed wydzielaniem pasa dla autobusów, tym uzyskane efekty będą mniej znaczące. Wyniki analiz wykazały silną korelację badanych parametrów, jednakże ze względu na eksperymentalny charakter i małą próbę, potwierdzenie tej tezy wymaga przeprowadzenia badań uzupełniających. Wyniki analiz pokazano na rysunku 7.

Tabela 5

Wskaźniki punktualności linii autobusowych – inwestycje zrealizowane						
Numer linii		52	64	65	68	69
odsetek kursów punktualnych przed uruchomieniem wydzielonego pasa dla autobusów	[%]	91,54	89,55	86,55	86,85	84,53
odsetek kursów punktualnych po uruchomieniu wydzielonego pasa dla autobusów	[%]	94,16	96,22	93,22	94,31	93,52
redukcja odsetka kursów niepunktualnych	[%]	2,62	6,67	6,67	7,46	8,99
odsetek kursów niepunktualnych przed uruchomieniem wydzielonego pasa dla autobusów	[%]	8,46	10,45	13,45	13,15	15,47
odsetek kursów niepunktualnych po uruchomieniu wydzielonego pasa dla autobusów	[%]	5,84	3,78	6,78	5,69	6,48

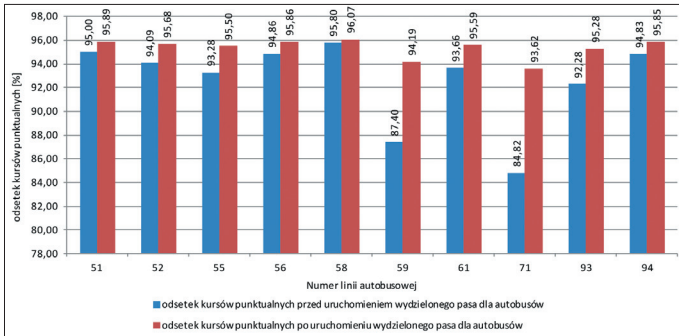


Rys. 7. Analiza regresji wskaźników punktualności i redukcji odsetka kursów niepunktualnych

Źródło: opracowanie własne

Wskaźniki punktualności linii autobusowych – inwestycje w trakcie realizacji

Numer linii		51	52	55	56	58	59	61	71	93	94
odsetek kursów punktualnych przed uruchomieniem wydzielonego pasa dla autobusów	[%]	95,00	94,09	93,28	94,86	95,80	87,40	93,66	84,82	92,28	94,83
odsetek kursów punktualnych po uruchomieniu wydzielonego pasa dla autobusów	[%]	95,89	95,68	95,50	95,86	96,07	94,19	95,59	93,62	95,28	95,85
szacowana redukcja odsetka kursów niepunktualnych	[%]	0,89	1,59	2,22	1,00	0,27	6,79	1,93	8,80	3,00	1,02
odsetek kursów niepunktualnych przed uruchomieniem wydzielonego pasa dla autobusów	[%]	5,00	5,91	6,72	5,14	4,20	12,60	6,34	15,18	7,72	5,17
odsetek kursów niepunktualnych po uruchomieniu wydzielonego pasa dla autobusów	[%]	4,11	4,32	4,50	4,14	3,93	5,81	4,41	6,38	4,72	4,15



Rys. 8. Wskaźniki punktualności linii autobusowych – inwestycje w trakcie realizacji

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie otrzymanej funkcji regresji oszacowano przewidywany poziom redukcji odsetka kursów niepunktualnych na liniach, które korzystać będą z wydzielonych pasów będących obecnie w trakcie realizacji lub w planach. Wyniki szacowania przedstawiono w tabeli 6 i na rysunku 8.

Podsumowanie

- Wyznaczenie wydzielonych pasów dla autobusów skutkuje wieloaspektowymi korzyściami zarówno dla transportu publicznego, jak i indywidualnego. Korzyści te można ująć w następujące grupy: korzyści ruchowe, ekonomiczne, eksploatacyjne i społeczne. Ponadto korzyści te można skwantyfikować.
- Wydzielenie pasów dla autobusów skutkuje wzrostem przepustowości całego ciągu komunikacyjnego, także pasów ogólnodostępnych, dzięki częściowemu odseparowaniu grupy rodzajowej o odmiennych, od pozostałych grup rodzajowych, cechach ruchowych. Należy jednak mieć na uwadze, że przepustowość całego ciągu determinowana jest elementem o najmniejszej przepustowości, którym najczęściej jest skrzyżowanie. Wraz z wyznaczeniem pasa dla autobusów powinno się więc podejmować działania związane z przeprowadzeniem tego pasa przez skrzyżowanie z nadaniem mu, w miarę możliwości, priorytetów za pomocą narzędzi sterowania ruchem.
- Zwiększenie prędkości eksploatacyjnej linii komunikacyjnej, po wyznaczeniu wydzielonego pasa dla autobusów, skutkuje redukcją kosztów eksploatacyjnych, związanych zarówno z redukcją czasu pracy, jak i redukcją taboru. Koszty te są możliwe do obliczenia na podstawie prędkości eksploatacyjnej i liczby taboru przed i po wyznaczeniu wydzielonego pasa dla autobusów. Po zbilansowaniu skumulowanej redukcji kosztów z nakładami inwestycyjnymi i utrzymanio- wymi można obliczyć okres, po którym bilans ten osiągnie wartość zerową.

- Wyznaczenie wydzielonego pasa dla autobusów skutkuje korzyściami społecznymi w postaci redukcji strat czasu pasażerów transportu publicznego. Poziom redukcji strat czasu jest możliwy do obliczenia na podstawie potoku pasażerskiego i różnicy czasu przejazdu odcinka ciągu komunikacyjnego, na którym wydzielono pas dla autobusów. Poziom tych strat można wyznaczyć w dowolnej jednostce czasu (godzina szczytu, miesiąc, rok). Przy analizie ciągu komunikacyjnego warto zderzyć ten czynnik ze stratami w transporcie indywidualnym. Z racji dużej przewagi zdolności przewozowej transportu publicznego nad indywidualnym (pomimo procentowo mniejszego udziału pojazdów transportu publicznego w potoku pojazdów) nawet pozornie nieznaczna redukcja czasu przejazdu daje zaskakująco dużą redukcję strat czasu pasażerów transportu publicznego.
- Poprawa punktualności, dzięki wydzieleniu pasa dla autobusów, wynika w głównej mierze z ustabilizowania warunków ruchu i w ślad za tym, czasów przejazdu. Wysunięto tezę, że im odsetek kursów niepunktualnych jest większy, tym wydzielenie pasa dla autobusów spowoduje redukcję odsetka kursów niepunktualnych w relatywnie większym stopniu.
- Przedstawiony w artykule sposób kwantyfikowania korzyści wynikających z wydzielenia pasów dla autobusów może być z powodzeniem stosowany w dowolnym mieście. Wynika to z faktu, że sposób ten opiera się na indywidualnych dla danego ciągu komunikacyjnego i danej linii autobusowej cechach, jak również indywidualnych kosztach, zarówno eksploatacyjnych, jak i inwestycyjnych. Tym niemniej, pogłębienie prac analityczno-badawczych w tym zakresie może doprowadzić do opracowania metody, w dużym stopniu, uniwersalnej. Autor nie wyklucza kontynuacji takich prac.

Literatura

1. Grzegorzewski R., Szczuraszek T., *Qualifying relationship between speed, intensity and density of traffic flow on intermodal section of dual-carriageway street*, "Archives of Civil Engineering", 2004, L, 2.
2. Gust M., Szczuraszek T., *A model of traffic flow on two-lane urban road*, "Archives of Civil Engineering", 2003, XLIX, 4.
3. Grzegorzewski R., Gust M., Szczuraszek T., *Classification of type vehicles into groups according to their length*, "Archives of Civil Engineering", 2007, LIII, 2.
4. Materiały niepublikowane Miejskich Zakładów Komunikacyjnych w Bydgoszczy Sp. z o.o.