

JACEK OSKARBSKI

dr inż., Politechnika Gdańska,
Wydział Inżynierii Lądowej, Katedra
Inżynierii Drogowej i Transportowej,
e-mail: joskar@pg.edu.pl

KAROL ŻARSKI

mgr inż., Politechnika Gdańska,
Wydział Inżynierii Lądowej, Katedra
Inżynierii Drogowej i Transportowej

Uwarunkowania realizacji kontrapasa autobusowego w zmiennokierunkowej organizacji ruchu¹

Streszczenie: Polskie miasta wprowadzają rozwiązania mające na celu zachęcanie do korzystania z alternatywnych do podróży samochodem sposobów przemieszczania się, w tym transportem zbiorowym, co może przyczynić się do zmniejszenia zatłoczenia sieci ulicznej. Jednym z przykładów takich działań jest wprowadzenie dedykowanego zmiennokierunkowego pasa autobusowego na jednej z głównych arterii miasta Gdyni. Jest to pierwsze rozwiązanie w Polsce, które zostało uruchomione pod koniec ubiegłego roku. Głównym celem artykułu jest przedstawienie innowacyjnego rozwiązania oraz wskazanie jego wad i zalet oraz problemów, które pojawiły się na etapie wdrożenia. Przedstawiono ponadto metodę szacowania efektywności zmian w organizacji ruchu na podstawie badań terenowych i symulacyjnych, którą zastosowano podczas procesu planowania usprawnień.

Słowa kluczowe: sterowanie ruchem, priorytety dla transportu zbiorowego, ruch zmiennokierunkowy.

Wprowadzenie

W ostatnich dekadach nastąpił znaczny wzrost mobilności w miastach. Według statystyk [1] w krajach Unii Europejskiej w 2015 roku zarejestrowanych było ponad 250 milionów samochodów osobowych. Według przewidywań liczba samochodów osobowych w skali globalnej podwoi się i do 2035 roku wzrośnie do 1,8 mld [2]. Szacuje się również, że do 2050 w miastach mieszkać będzie 70% populacji na świecie, co przyczyni się do potrojenia liczby podróży w obszarach zurbanizowanych [3]. Wskaźnik motoryzacji w wielu miastach Europy Środkowej i Wschodniej (w tym w Polsce) przekracza 600 samochodów osobowych na 1000 mieszkańców i rośnie. Jednocześnie w wielu miastach zmniejsza się udział podróży środkami transportu zbiorowego, a liczba podróży odbywanych rowerem pozostaje, w porównaniu do innych środków transportu, na niskim poziomie. Zatłoczenie sieci ulicznej uważane jest za jeden z głównych problemów w transporcie miejskim, ponieważ przyczynia się do wydłużenia czasu podróży, większej emisji zanieczyszczeń, a tym samym do pogorszenia jakości życia w miastach. Całkowite koszty zewnętrzne transportu (w tym koszty wypadków, zatorów komunikacyjnych, hałasu, emisji CO₂, jakości powietrza) na obszarach miejskich Unii Europejskiej wynoszą 230 mld EUR [4]. Sektor transportu emituje 14% gazów cieplarnianych. Należy nadmienić, że 95% światowej energii w transporcie pochodzi z paliw ropopochodnych, głównie benzyny i oleju napędowego. Transport drogowy przyczynia się do 79,5% emisji z sekto-

ra transportowego [5]. Transport drogowy powoduje 39% emisji tlenków azotu i 11% emisji pyłu PM 2.5 w Europie [6]. Sektor transportu jest jednym z głównych sektorów energochłonnych, odpowiedzialnym za 28% światowego zużycia energii pierwotnej [7].

Przezwyciężenie tych negatywnych trendów jest możliwe dzięki wdrożeniu rozwiązań, które przyczynią się między innymi do zmiany zachowań transportowych podróżujących. Komisja Europejska w Zielonej Księdze [8] zidentyfikowała główne wyzwania dla rozwoju transportu miejskiego, którymi są:

- poprawa płynności ruchu w miastach poprzez optymalizację wykorzystania samochodów prywatnych, promowanie aktywnej mobilności (chodzenie pieszo, jazda na rowerze), zrównoważony transport towarowy;
- zwiększenie wykorzystania usług Inteligentnych Systemów Transportowych (ITS) w transporcie miejskim;
- zmniejszenie negatywnego wpływu transportu na środowisko poprzez wykorzystanie nowoczesnych technologii i alternatywnych źródeł energii, promowanie ekologicznej jazdy i ograniczanie ruchu samochodowego;
- poprawa dostępności i integracja transportu miejskiego, w tym poprzez zrównoważone planowanie przestrzenne;
- poprawa bezpieczeństwa i niezawodności transportu miejskiego;
- zmiana zachowań transportowych i sposobu postrzegania transportu przez społeczności miejskie.

W ramach badań przeprowadzonych przez OECD i Europejską Konferencję Ministrów Transportu przeanalizowano różne strategie zmniejszania zatłoczenia [9]. Wnioski z analiz wskazały potrzebę wzmocnienia transportu zbiorowego, możliwości funkcjonowania niezmotoryzowanych sposobów transportu (pieszego i rowerowego) oraz wdrażania strategii zarządzania ruchem w celu skutecznego ograniczenia zatorów. Badania nad skutecznością i kosztami strategii zmniejszania zatorów [10] pokazują, jakie rodzaje środków są najbardziej skuteczne w zmniejszaniu zatłoczenia na najbardziej efektywnym kosztowo poziomie. Wyniki badań wykazały, że multimodalne opcje transportowe stanowią najskuteczniejszą grupę środków ze względu na relatywnie niższe koszty wdrożenia. Zatłoczenie transportowe można zmniejszyć poprzez zmianę podziału zadań przewozowych z transportu samochodowego na zbiorowy lub rowerowy. W celu zachęcenia

¹ ©Transport Miejski i Regionalny, 2020. Procentowy udział wkładu autorów w publikację: J. Oskarbski 50%, K. Żarski 50%,

do zmiany środka transportu i poprawy warunków dla transportu zbiorowego na obszarach miejskich zalecono usprawnienie jakości oferowanych usług poprzez m.in. wdrożenie dedykowanych pasów dla autobusów na zatłoczonych arteriach miejskich, priorytetów dla autobusów, trolejbusów i tramwajów w sygnalizacji świetlnej, odcinków sieci ulicznej dedykowanych dla pojazdów transportu zbiorowego oraz poprawę systemów informowania podróżnych. Działania takie powinny być poprzedzone analizami korzyści, kosztów i efektywności planowanych rozwiązań. Największe efekty można osiągnąć, jeśli powyższe rozwiązania połączy się z wdrażaniem środków zniechęcających do korzystania z samochodu, takimi jak ograniczenie dostępności wybranych obszarów poprzez regulację możliwości wjazdu, opłaty parkingowe, opłaty za wjazd do wybranych obszarów miasta lub redukcję liczby miejsc parkingowych. Wskazane powyżej działania mają na celu zmianę zachowań transportowych mieszkańców w odniesieniu do wyboru środków transportu konkurencyjnych do samochodów prywatnych. Zmiana zachowań transportowych jest czasochłonna i wiąże się często z koniecznością zmiany stylu życia poprzez odpowiednie planowanie zmian w przestrzeni miejskiej lub udostępnienie nowych usług, umożliwiających rezygnację z korzystania z samochodu lub rezygnację z odbycia podróży [11], [12], [13], [14]. Mobilność oznacza m.in. zdolność do przemieszczania się i dokonywania wyborów w transporcie, a rolą zarządzania mobilnością w miastach jest stymulowanie świadomych wyborów [15]. Zachęcanie do wyboru alternatywnych metod podróżowania może pomóc w redukcji popytu na podróże samochodowe oraz zmniejszeniu zatłoczenia i związanymi z nimi stratami czasu podróżujących. Straty czasu dotyczą nie tylko użytkowników samochodu, ale także pieszych, rowerzystów i pasażerów transportu zbiorowego. Straty czasu są postrzegane przez większość użytkowników dróg jako najważniejszy skutek zatorów transportowych. Czas podróży odgrywa ważną rolę w kształtowaniu zachowań transportowych, ale jest tylko jednym z czynników branych pod uwagę przez podróżnych [16]. Straty czasu mają znaczenie, gdy rzeczywisty czas podróży przekracza próg, który uczestnik ruchu akceptuje. Podróżni wybierający różne środki transportu postrzegają straty czasu inaczej. Postrzegane wydłużenie czasu podróży zależy również np. od jej motywacji i stosunku strat czasu do całkowitego czasu podróży, co nie jest zagadnieniem liniowym [17], [18]. W artykule opisano rozwiązanie umożliwiające redukcję strat czasu podróżujących transportem zbiorowym, w którym zastosowano czasowe dedykowanie pasa ruchu dla autobusów z wykorzystaniem środków sterowania ruchem.

Uwarunkowania wdrożenia kontrapasa autobusowego

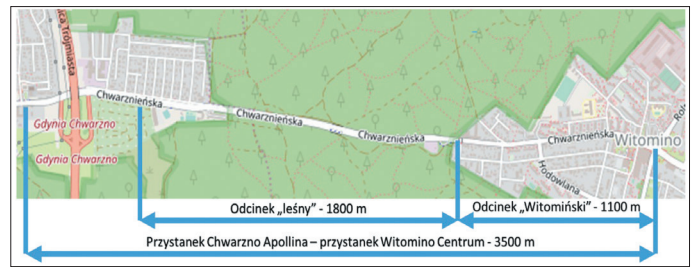
Gdynia jest miastem, którego populacja liczy prawie 250 tysięcy mieszkańców, położonym na wybrzeżu Morza Bałtyckiego w północnej części Polski. Rosnący wskaźnik motoryzacji i wzrost natężenia ruchu w sieci ulicznej stano-

wią zagrożenie dla niezawodnego funkcjonowania systemu transportu, dlatego też miasto podejmuje obecnie działania na rzecz zrównoważonego rozwoju transportu. Liczba mieszkańców Gdyni maleje między innymi ze względu na to, że wielu z nich przenosi się do sąsiednich gmin, w których liczba ludności rośnie. Obserwowany jest również wzrost liczby mieszkańców w dzielnicach zachodnich i północnych, w których powstają nowe osiedla mieszkaniowe. Jednocześnie większość osób z gmin ościennych pracuje lub studiuje w obszarach centralnych Gdyni, przez co obserwujemy wzrost średniej odległości między domem a miejscem pracy lub nauki, co w połączeniu z większą przystępnością cenową samochodów przyczynia się do systematycznego wzrostu liczby podróży samochodem prywatnym. Powyższe procesy przyczyniają się do wzrostu natężenia ruchu drogowego, wydłużenia czasu podróży, wzrostu kosztów wypadków oraz zanieczyszczeń środowiska. Regularny monitoring preferencji i zmian zachowań transportowych mieszkańców Gdyni prowadzony jest od ponad dwudziestu lat przez Zarząd Komunikacji Miejskiej w Gdyni (ZKM). Badania preferencji prowadzone są co 2–3 lata metodą wywiadu bezpośredniego. Badania ankietowe standaryzowane są na reprezentatywnej próbie 1% populacji. Badania przeprowadzone w 2018 roku pozwoliły na oszacowanie następującego podziału zadań przewozowych w podróżach na obszarze miasta: 11,4% respondentów zadeklarowało podróż pieszo, 48,9% – samochodem, 37,1% – transportem zbiorowym, 2,1% – rowerem (0,6% pozostałych, w tym motocyklami). Udział transportu zbiorowego w podróżach nie zmienia się znacząco w porównaniu do badań przeprowadzonych w poprzednich latach. W 2013 roku dla podróży pieszych wyniósł 45,7%, w 2015 roku spadł do 39,8%, a w 2018 roku wzrósł do 41,8% [19], [20]. Zwiększenie atrakcyjności podróżowania pieszo, rowerem lub transportem zbiorowym może wpływać na redukcję udziału przejazdów realizowanych indywidualnym transportem zmotoryzowanym. Aby sprostać temu wyzwaniu, miasto podjęło szereg działań związanych z poprawą atrakcyjności i niezawodności transportu zbiorowego. Obecnie na terenie miasta funkcjonuje prawie 8 km dedykowanych pasów autobusowych, których sukcesywnie przybywa. Ponadto pojazdom transportu zbiorowego (autobusom i trolejbusom) nadawane są priorytety na skrzyżowaniach, na których sterowanie ruchem odbywa się za pośrednictwem sygnalizacji świetlnej [21] oraz za pośrednictwem służ autobusowych [22]. Jednym z pomysłów na podniesienie konkurencyjności transportu zbiorowego była realizacja kontrapasa autobusowego w ciągu ulicy Chwarzeńskiej, który został uruchomiony pod koniec 2019 roku.

Podstawę do wyboru lokalizacji odcinków ulic na terenie miasta Gdyni, które wymagają pogłębionych analiz w celu wdrożenia środków umożliwiających usprawnienie funkcjonowania transportu zbiorowego, stanowiła identyfikacja najbardziej obciążonych miejsc w okresach szczytu porannego i popołudniowego. Przydatnym źródłem danych do identyfikacji miejsc krytycznych, poza ogólnodostępnymi serwisami internetowymi przekazującymi infor-

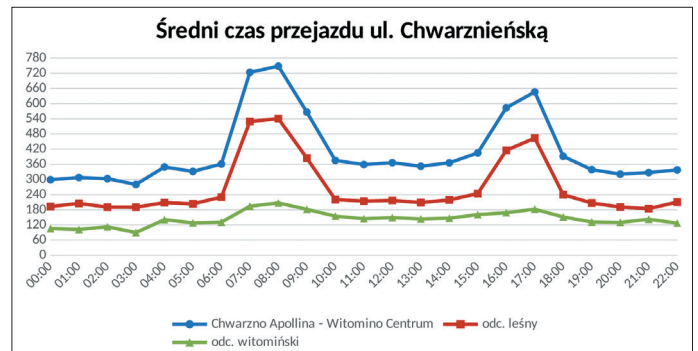
mację o utrudnieniach, są narzędzia funkcjonujące w ramach Zintegrowanego Systemu Zarządzania Ruchem TRISTAR. Jednym takich narzędzi jest moduł nadzoru nad ruchem pojazdów transportu zbiorowego, który został wykorzystywany między innymi do analiz czasów przejazdu pojazdów transportu zbiorowego [21], [23]. Dane do takich badań rejestruje komputer pokładowy, odnotowujący moment przyjazdu i wyjazdu pojazdu transportu zbiorowego ze strefy przystankowej. Dane przesyłane są do baz danych systemu TRISTAR, gdzie zostają przetworzone w celu informowania pasażerów o czasie odjazdu pojazdu transportu zbiorowego z przystanku, m.in. za pośrednictwem dynamicznych tablic informacji przystankowej lub aplikacji mobilnych, wykorzystujących formułę otwartych danych [24]. Dane umożliwiły przeprowadzenie analizy czasu przejazdu pojazdów transportu zbiorowego na poszczególnych odcinkach sieci ulicznej Gdyni. Ulica Chwarznieńska położona w ciągu trasy dojazdu z rozwijających się dzielnic zachodnich Gdyni do Śródmieścia oraz prowadząca do centrum Gdyni ruch z Obwodnicy Trójmiasta, została zidentyfikowana jako jeden z krytycznych pod tym względem odcinków sieci. Początek trasy dojazdowej do Śródmieścia odbywa się dwoma odcinkami ulicy Chwarznieńskiej (rys. 1) o łącznej długości 3,5 km (od przystanku Chwarzno Apollina położonego za Obwodnicą Trójmiasta do przystanku Witomino Centrum). Odcinek „leśny” ulicy to droga zbiorcza o przekroju 2/2 z pasem dzielącym (dwa pasy ruchu w każdym kierunku), na początku odcinka „witomińskiego” następuje zmiana przekroju na 1/2. W ciągu całej analizowanej trasy występuje 6 przystanków. Pomędzy przystankami na początku i końcu odcinka „leśnego”, przed wdrożeniem kontrapasa autobusowego dokonano w roku 2017 analizy opóźnień pojazdów transportu zbiorowego. W wyniku analizy zidentyfikowano znaczne opóźnienia w kursowaniu pojazdów transportu zbiorowego w kierunku Śródmieścia Gdyni w godzinach szczytu porannego, które wynosiły od około 2 do ponad 10 minut. Jedną z przyczyn powstającego zatłoczenia, skutkującego opóźnieniami pojazdów transportu zbiorowego, była zmiana przekroju drogi z 2/2 na 1/2 bezpośrednio przed początkiem odcinka „witomińskiego”, przebiegającego w otoczeniu ścisłej zabudowy dzielnicy Witomino. W powstających w miejscu krytycznym zatorach odnotowano znaczne straty czasu, zarówno podróżujących samochodowym transportem indywidualnym, jak i transportem zbiorowym.

Na rysunku 2 przedstawiono wykres średnich czasów przejazdu w poszczególnych godzinach w ciągu doby z 5 dni roboczych w maju 2017 roku pomiędzy skrajnymi przystankami na odcinku około 3,5 km oraz na odcinku „leśnym” i „witomińskim”. Głównym miejscem występowania opóźnień na całej analizowanej trasie jest przede wszystkim odcinek „leśny”. Opóźnienia sięgały średnio w godzinach szczytu porannego około 6 min, a w skrajnych przypadkach około 10 minut. Na odcinku „witomińskim” nie odnotowano znaczących opóźnień (od 1 do 2 minut podczas szczytu porannego). Należy nadmienić, że podczas szczytu



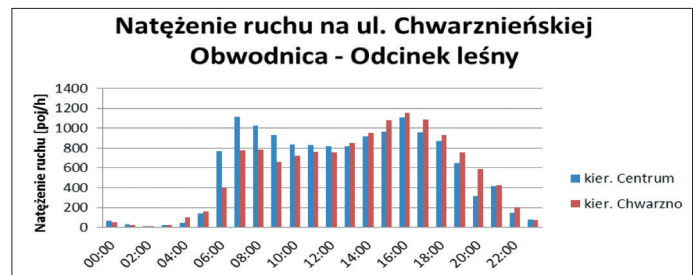
Rys. 1. Lokalizacja analizowanych odcinków na ul. Chwarznieńskiej

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem openstreetmap.org



Rys. 2. Średni czas przejazdu ul. Chwarznieńskiej w ciągu doby

Źródło: Zarząd Dróg i Zieleni w Gdyni, na podstawie danych z systemu TRISTAR



Rys. 3. Natężenie ruchu w ciągu ul. Chwarznieńskiej

Źródło: Zarząd Dróg i Zieleni w Gdyni i GDDKiA oddział w Gdańsku

popołudniowego na analizowanej trasie również występowały opóźnienia w kierunku Śródmieścia Gdyni, wynoszące do około 4 minut.

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki pomiarów natężenia ruchu w przekroju odcinka „leśnego”, które korespondują ze zmiennością średnich czasów przejazdu, przedstawionym na rysunku 2. Należy nadmienić, że w kolejnych latach obserwowano dalsze występowanie kolejek pojazdów w godzinach szczytu porannego i popołudniowego na końcu odcinka „leśnego” ze względu na znaczne wartości natężenia ruchu.

W okresie porannego szczytu odnotowano natężenie ruchu na poziomie 800–1100 poj./godz. w kierunku centrum i do 800 poj./godz. w kierunku Obwodnicy Trójmiasta. Powyższe związane jest z mniejszym ruchem wyjazdowym z miasta w godzinach porannych i ograniczeniami wynikającymi z przekroju drogi i jej przepustowości. Wyniki wskazywały na brak większego wpływu na warunki ruchu potencjalnego ograniczenia przekroju drogi w kierunku obwodnicy do jednego pasa ruchu, szczególnie w godzinach szczytu popołudniowego. W celu bardziej dokładnego zbadania wpływu wprowadzenia zmiennokierunkowej organi-

zacji ruchu na warunki ruchu, przeprowadzono badania symulacyjne ruchu w warunkach zmienionej organizacji ruchu, które przedstawiono w rozdziale 3.

Metodyka i wyniki badań symulacyjnych

Badania zasadności i efektywności planowanego rozwiązania zostały przeprowadzone z wykorzystaniem metod symulacyjnych. W analizie wykorzystano zestaw testów symulujących wpływ różnych sposobów i strategii organizacji ruchu wzdłuż arterii. Badania obejmowały kalibrację modelu symulacyjnego z wykorzystaniem danych z badań terenowych oraz danych z urządzeń detekcji systemu TRISTAR, a następnie modyfikację scenariuszy organizacji i sterowania ruchem. W celu przeanalizowania proponowanego rozwiązania opracowano modele mikrosymulacyjne z wykorzystaniem narzędzia, jakim jest oprogramowanie PTV VISSIM, obejmujące odcinek ulicy Chwarznieńskiej od przystanku Chwarznieńska Apollina do skrzyżowania będącego zakończeniem ulicy. Model stanu istniejącego (wariant bazowy) zweryfikowano z wykorzystaniem danych rzeczywistych o czasach przejazdu między określonymi punktami odcinka arterii oraz wartościami natężeń ruchu. W analizach uwzględniono następujące warianty organizacji ruchu:

- Wariant 0 (W0) – stan istniejący – wariant bazowy,
- Wariant 1 (W1) – klasyczny dedykowany pas autobusowy wydzielony na prawym pasie, na odcinku „leśnym” w kierunku centrum Gdyni,
- Wariant 2 (W2) – kontrapas autobusowy w kierunku centrum, wydzielony czasowo na jezdni prowadzącej ruch w przeciwnym kierunku (do Obwodnicy).

Istotnym elementem analizy było porównanie bardziej zaawansowanego rozwiązania w postaci kontrapasa autobusowego względem mniej kosztownego i inwestycyjnego wariantu w postaci klasycznego pasa autobusowego na odcinku „leśnym”. Wyniki rzeczywistych oraz obliczonych w ramach badań symulacyjnych czasów przejazdów autobusów przedstawiono w tabeli 1.

Porównanie w wariantach bazowym średnich czasów przejazdu pozyskanych z pomiarów z czasami obliczonymi z wykorzystaniem symulacji wskazuje na przydatność opracowanego modelu w szacowaniu efektywności analizowanych rozwiązań. Analiza wariantów usprawnień prowadziła do wniosków, że w przypadku wdrożenia rozwiązania zakładanego w wariantach 1 (wydzielenie dedykowanego pasa autobusowego na jezdni w kierunku Śródmieścia i pozostawienie jednego pasa dla ruchu samochodowego) spowoduje

powstawanie kolejki pojazdów sięgającej Obwodnicy Trójmiasta, co ze względu na pogorszenie poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz znaczne pogorszenie warunków ruchu zarówno w układzie lokalnym, jak i na drodze ekspresowej, nie jest wskazane. Kolejka pojazdów przyczyniałyby się do znacznego ograniczenia dostępności planowanego pasa autobusowego (oczekiwanie autobusów w kolejce pojazdów i znaczne straty czasu przed wjechaniem na pas autobusowy). Skutkiem powyższego nastąpiłoby wydłużenie czasu dojazdu do pasa autobusowego w okresie szczytu, niwelując zysk uzyskany na samym dedykowanym pasie. Niewielkie korzyści dla transportu zbiorowego oraz duże straty dla transportu indywidualnego spowodowałyby negatywny odbiór rozwiązania przez mieszkańców. Potencjalnym ograniczeniem, które zidentyfikowano podczas analizy rozwiązania zaproponowanego w wariantach 2, było zakończenie kontrapasa, pozwalające na włączenie się autobusu z powrotem na przeciwległą jezdnię. Ostatecznie zaproponowano w tym miejscu sygnalizację świetlną wzbudzaną przez dojeżdżający autobus, który otrzymuje priorytet. W wariantach 2 nie zaobserwowano pogorszenia warunków ruchu pojazdów jadących w kierunku centrum. Ze względu na stosunkowo niskie wartości natężeń ruchu wydzielenie kontrapasa nie powodowało również widocznego pogorszenia warunków ruchu na jezdni prowadzącej w kierunku Obwodnicy. W przypadku jezdni, na której założono wydzielenie kontrapasa, ze względów bezpieczeństwa ruchu zostało przyjęte czasowe ograniczenie prędkości z 70 km/h do 50 km/h, co wiązało się z wydłużeniem czasu przejazdu samochodów o 20 sekund na odcinku około 1 km. Przeprowadzone badania symulacyjne pozwoliły na wstępną ocenę efektywności i zasadności zakładanych zmian w organizacji ruchu oraz wybór do dalszych analiz i realizacji rozwiązania z jednej strony bardziej atrakcyjnego dla podróżujących transportem zbiorowym, z drugiej nie wpływającego w widoczny sposób na warunki ruchu transportu indywidualnego.

Zasady funkcjonowania wdrożonego rozwiązania

Zmienny kierunek ruchu w Polsce jest nowatorskim rozwiązaniem. Wprowadzanie tego typu rozwiązań na naszych drogach ma charakter incydentalny i związany jest z wystąpieniem zdarzeń drogowych, pracami budowlanymi lub utrzymaniowymi. Brak takich rozwiązań może wynikać między innymi stąd, że na polskich drogach niewiele jest szerokich, dwukierunkowych przekrojów jednoprzestrzennych, które pozwoliłyby na wprowadzanie takich rozwiązań bez znacznego wpływu na warunki i bezpieczeństwo ruchu drogowego. Kolejnym powodem braku takich rozwiązań może być brak szczegółowych przepisów i wytycznych w zakresie stosowania metody zmiennokierunkowej organizacji ruchu lub sterowania ruchem na pasach. Na świecie rozważane rozwiązania badane są i stosowane od wielu lat w kontekście optymalnego wykorzystania przepustowości istniejącej infrastruktury transportowej w sterowaniu ruchem w godzinach szczytowych, podczas imprez masowych lub sytuacjach kryzysowych, w których okresowo następuje

Tabela 1

Średni czas przejazdu autobusów pomiędzy przystankami w ciągu ul. Chwarznieńskiej				
Odcinek pomiarowy	Pomiar [s]	Czasy przejazdu w modelu [s]		
		W0	W1	W2
Okreźna – Sosnowa	507	540	292	227
Sosnowa – Nauczycielska	68	60	74	86
Nauczycielska – Witomino	131	120	160	158

zmiana rozkładu ruchu i wartości natężeń w sieci drogowej [25], [26], [27].

Stosowane w innych krajach rozwiązania stanowiły podstawę do przedstawienia założeń dla innowacyjnego kontrapasa autobusowego władzom miasta Gdyni. Pod koniec roku 2018 został zrealizowany projekt techniczny, a w połowie 2019 roku zostało przyznane współfinansowanie przez wojewodę pomorskiego w ramach Funduszu Dróg Samorządowych w wysokości 50% kosztów inwestycji. Realizacja przedsięwzięcia kosztowała około 4,1 mln zł. Kontrapas autobusowy został wytyczony na odcinku o długości 1,1 km pomiędzy skrzyżowaniem z ulicą Okrężną a miejscem zmiany przekroju ulicy Chwarznieńskiej. Ze względu na brak skrzyżowań i przystanków na odcinku kontrapasa zaprojektowanie organizacji ruchu nie uwzględniało wyzwań związanych z dostosowaniem elementów sieci ulicznej, w których występuje wiele punktów kolizji. Ze względu na powyższe nie wyznaczono kontrapasa bezpośrednio w miejscu lokalizacji przystanków autobusowych na początku i końcu odcinka. Natomiast dzięki położonemu bezpośrednio przed początkiem kontrapasa skrzyżowaniu z sygnalizacja świetlną ze służą dla pojazdów transportu zbiorowego autobus może bezkolizyjnie wjechać na dedykowany pas. Projekt techniczny został zrealizowany na podstawie wytycznych Zarządu Dróg i Zieleni w Gdyni, które zakładały konieczność dołączenia kontrapasa do funkcjonującego w Trójmieście systemu TRISTAR. Stosowane obecnie urządzenia i oprogramowanie do zarządzania ruchem umożliwia gromadzenie i przetwarzanie danych o ruchu w czasie rzeczywistym. Za pomocą nowoczesnych, inteligentnych systemów sterowania ruchem można szybko i dynamicznie otwierać i zamykać pasy lub całe drogi, a nawet zmieniać kierunki ruchu na pasach w oparciu o statystyki historyczne lub bieżące dane, tak aby przepustowość drogi mogła być dynamicznie zmieniana w zależności od zapotrzebowania. Gwałtowne zmiany mogą jednak dezorientować kierowców [28]. Główne elementy, które umożliwiły realizację rozwiązania zgodnie z przepisami określonymi głównie w „Szczegółowych warunkach technicznych dotyczących znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków umieszczania ich na drogach”, to sygnalizatory S4 i S7 podłączone do sterownika sygnalizacji świetlnej, sterujące ruchem na pasach ruchu oraz znaki zmiennej treści, informujące o zasadach zmiennej organizacji ruchu i stymulujące bezpieczne zachowania kierowców. Sterownik sygnalizacji wraz ze znakami został podłączony do eksploatowanej przez ZDiZ aplikacji VTcenter, a tym samym rozszerzył możliwości systemu TRISTAR o kolejne funkcjonalności, bazując na już istniejących. Takie podejście ograniczyło koszty wdrożenia do budowy elementów zmiennego oznakowania kontrapasa oraz integracji na poziomie informatycznym, dzięki czemu nie było potrzeby opracowywania nowego oprogramowania, a można było zaadaptować już istniejące. W zakresie znaków zmiennej treści zastosowano dwa rodzaje urządzeń. Poza najczęściej stosowanymi znakami elektronicz-

nymi z diodami LED zdecydowano, że podstawowymi znakami określającym aktualną organizację ruchu będą dwa znaki pryzmatyczne. Tego typu znaki pozwalają w ograniczonym zakresie zmieniać treści, ale podstawową ich zaletą jest możliwość przekazywania informacji w przypadku braku zasilania. Lokalizację znaków pryzmatycznych oraz treści przekazywane przez znaki podczas uruchomionego kontrapasa przedstawiono schematycznie na rysunku 4. W zależności od bieżącej organizacji ruchu pokazywany jest znak „droga jednokierunkowa” lub „droga dwukierunkowa”. Na początku kontrapasa ustawiono znak „zakazu wjazdu” z uwagą „Nie dotyczy ZKM”, kiedy pas jest uruchomiony lub w przypadku, gdy jest wyłączony jedynie „zakaz wjazdu”. Obecnie zastosowany sposób oznakowania nie uprawnia do wjazdu na dedykowany pas, np. pojazdów elektrycznych oraz innych pojazdów niż pojazdy Zarządu Komunikacji Miejskiej. Oczywiście z pasa mogą korzystać pojazdy służb ratowniczych i prewencyjnych.

Procedura uruchamiania kontrapasa trwa kilka minut, ponieważ najpierw zgodnie z przepisami i ze względu na warunki bezpieczeństwa ruchu należy sukcesywnie zamykać odcinki lewego pasa dla pojazdów jadących w kierunku Obwodnicy. W tym celu wykorzystano sygnalizatory S4 i S7, przy czym te drugie odpowiadają za wyświetlanie żółtego sygnału z symbolem strzałki skierowanej w prawą stronę, w postaci strzałki stałej, jeżeli na następnym sygnalizatorze S4 jest symbol czerwonego sygnału X lub strzałki migającej, jeżeli na następnym sygnalizatorze S7 jest wyświetlana strzałka stała. W aktualnie obowiązujących przepisach brakuje szczegółowych wymagań dotyczących długości trwania sekwencji sygnałów na sygnalizatorach S7 w aspekcie zmiany kolejno występujących po sobie sygnałów na sygnalizatorach na sygnał X. Na rysunku 4 przedstawiono wyświetlane sygnały dla scenariusza z w pełni uruchomionym kontrapasem. W przypadku znaków zmiennej treści LED nie pojawia się żadna informacja nad zamkniętym lewym pasem ruchu, a nad prawym pasem naprzemiennie wyświetlany jest zakaz wyprzedzania i ograniczenie prędkości do 50 km/godz. Środkowy znak informuje o tym, który pas jest dedykowany poszczególnym rodzajom pojazdów w poszczególnych kierunkach ruchu. Na górnym wierszu wyświetlane są naprzemiennie komunikaty „ZMIANA ORG. RUCHU” i „JEDŹ PRAWYM PASEM”. Informacja dla kierowców autobusów, wjeżdżających na kontrapas o ograniczeniu prędkości i ruchu dwukierunkowym na jezdni, przekazywana jest na jego początku również za pośrednictwem znaku zmiennej treści.

Obecnie dedykowany pas uruchamiany jest manualnie. Decyzja o uruchomieniu kontrapasa podejmowana jest przez operatora na podstawie obserwacji długości kolejki przed i za miejscem zmiany przekroju drogi. Jednocześnie obserwacji podlegają czasy przejazdu pojazdów w ciągu ulicy Chwarznieńskiej, których pomiar odbywa się za pośrednictwem skanerów rejestrujących pojawiające się urządzenia Bluetooth/WiFi. Wyniki pomiarów ze skanerów (pierwszy z nich zainstalowany jest na początku kontrapasa, drugi



Rys. 4. Schemat scenariusza organizacji ruchu z uruchomionym kontrapasem autobusowym
Źródło: opracowanie własne na podstawie materiałów ZDiZ Gdynia i openstreetmap.org



Rys. 5. Oznakowanie kontrapasu: a) przed wjazdem dla autobusów, b) dla ruchu ogólnego
Fot. K. Żarski.

na jego końcu, a trzeci na głównym skrzyżowaniu w centralnej części dzielnicy Witomino) są na bieżąco przesyłane do Centrum Zarządzania i Sterowania Ruchem w Gdyni. Trwają prace nad ustaleniem warunków brzegowych i wdrożeniem rozwiązania, które pozwoli na uruchamianie kontrapasu w sposób półautomatyczny, sugerując operatorowi jego włączenie, a w przypadku pozytywnych testów w sposób automatyczny. Planowane rozwiązanie pozwoli na optymalizację decyzji o włączeniu kontrapasu poprzez redukcję liczby przypadków, w których operator nie ma pewności czy uruchomienie przyczyni się do zmniejszenia strat czasu pojazdów transportu zbiorowego lub w porę nie zauważa konieczności podjęcia działań.

System bezpieczeństwa i oznakowania powinien być opracowany w sposób, który zachęca do użytkowania, minimalizując jednocześnie prawdopodobieństwo wystąpienia sytuacji niebezpiecznych związanych z funkcjonowaniem obiektu. Właściwa komunikacja i udział społeczeństwa są kluczowe dla zapewnienia sukcesu rozwiązania. Zasadne jest wskazanie najlepszych lokalizacji do wdrożenia rozwiązania i upewnienie się, czy społeczeństwo rozumie koncepcję i funkcjonowanie rozwiązania. Oznakowanie powinno być dobrze widoczne i zlokalizowane tak, aby w prosty sposób przekazywać informacje o aktualnej organizacji ruchu i zasadach poruszania się po pasach. Urządzenia obsługujące ruch zmiennokierunkowy wymagają również stosowania zabezpieczeń uniemożliwiających wyświetlanie błędnych lub sprzecznych komunikatów. Obawa o pogorszenie poziomu bezpieczeństwa może stanowić jedną z głównych przeszkód we wdrażaniu pasów zmiennokierunkowych. Raporty sugerują wzrost liczby zdarzeń drogowych w obszarach, na których realizuje się te innowacyjne koncepcje, szczególnie w początkowej fazie po uruchomieniu. Główną przyczyną zdarzeń są ograniczenia w zrozu-

mieniu rozwiązania przez kierowcę oraz świadome lub wynikające z niezrozumienia nieprzestrzeganie przepisów ruchu drogowego [26], [29]. Aspekty bezpieczeństwa ruchu drogowego były jednymi z najczęściej poruszanych podczas dyskusji nad opisywanym w artykule rozwiązaniem. Podstawowe założenia przyjęto na podstawie sterowania ruchem na pasach, stosowanym w tunelach lub na drogach ekspresowych i autostradach. W Polsce zakres wdrożeń z zakresu usług ITS (usług Inteligentnych Systemów Transportu) do tej pory w zakresie sterowania na pasach ogranicza się jedynie do tuneli [30], [31]. Można zatem założyć, że kierowcy wcześniej niezapoznani z tego typu rozwiązaniami mogą mieć trudność w poprawnej ich interpretacji. Dodatkowym utrudnieniem dla kierowców, rzadko spotykanym również na drogach europejskich, jest kierowanie na zamknięty dla danego kierunku pas pojazdów jadących z naprzeciwka. Ze względu na powyższe przez pierwszy tydzień od uruchomienia rozwiązania zmienne oznakowanie kontrapasu było włączane podczas szczytu porannego pod nadzorem policji bez dopuszczenia ruchu autobusów w celu przyzwyczajenia kierowców do planowanych zmian w organizacji ruchu. W tym czasie policjanci zatrzymywali i pouczali kierowców, którzy niezgodnie ze wskazaniami sygnalizatorów i znaków zmiennej treści poruszali się lewym pasem ruchu przeznaczonym dla autobusów. Jednocześnie poprzez lokalne media informowano szczegółowo o zasadach poruszania się w warunkach zmiennej organizacji ruchu. Podczas obserwacji zachowań kierowców zidentyfikowano niebezpieczne manewry, których częstotliwość w miarę czasu funkcjonowania rozwiązania spada i jest obecnie incydentalna. Niektórzy kierowcy poruszają się lewym pasem ruchu przeznaczonym dla autobusów nadjeżdżających z naprzeciwka na dłuższym odcinku kontrapasu, co może świadczyć o braku znajomości rozwiązań oznakowania i braku spostrzegawczości. Drugim typem zachowań jest prawdopodobnie świadoma jazda krótkim odcinkiem lewego pasa jedynie podczas wyprzedzania innych pojazdów pomimo zakazu tego manewru. Zaobserwowano również przypadki wjazdu nieuprawnionych pojazdów na kontrapas zgodnie z kierunkiem jazdy autobusów. Kontrapas został po raz pierwszy w pełni uruchomiony (z dopuszczeniem ruchu autobusów) 16 grudnia 2019 roku w obecności i pod stałym nadzorem policji. Podczas pierwszych czterech dni od pełnego uruchomienia kontrapas funkcjonował przez 14 godzin. Najwcześniejsze włączenie podczas szczytu porannego odnotowano około godziny 6:45, a wyłączenie odbyło się najpóźniej około godziny 12:00. Czas funkcjonowania rozwiązania zależny był od stopnia zatłoczenia ulicy Chwarznieńskiej i długości kolejki pojazdów w miejscu zmiany przekroju jezdni. W ciągu pierwszych czterech dni kontrapas umożliwił redukcję strat czasu 135 autobusom [32].

Podsumowanie

Przedstawione w artykule rozwiązanie jest pierwszym wdrożeniem w zakresie dedykowanego pasa autobusowego w ruchu zmiennokierunkowym w Polsce. Pomimo

obaw związanych z pogorszeniem bezpieczeństwa ruchu, w ciągu pierwszych miesięcy funkcjonowania kontrapasa nie odnotowano zdarzenia drogowego. Obserwowane przypadki nieprawidłowych manewrów mają miejsce coraz rzadziej, jednak niektórzy kierowcy świadomie naruszają przepisy ruchu drogowego. Rozwiązanie zostało zaakceptowane społecznie ze względu na znaczne oszczędności czasu przejazdu transportem zbiorowym przy jednoczesnym braku pogorszenia warunków ruchu dla kierowców samochodów. Niewielkie korzyści pasażerów transportu zbiorowego oraz duże straty dla transportu indywidualnego spowodowałyby negatywny odbiór rozwiązania wśród mieszkańców. Wstępna analiza czasów przejazdu wskazuje na skrócenie czasu przejazdu transportem zbiorowym, a z obserwacji wynika, że kolejki pojazdów się nie wydłużyły. W artykule przedstawiono analizy, które stanowiły podstawę wdrożenia rozwiązania. Zaprezentowana metodyka analizy czasów przejazdu będzie pomocna w oszacowaniu efektywności wdrożenia kontrapasa, jednakże w celu dokonania ostatecznej oceny oraz monitorowania zmian konieczna jest analiza danych z dłuższego okresu czasu. W ramach przyszłych badań ocenie zostanie również poddany wpływ wdrożenia na podział zadań przewozowych. Zebrane dane będą stanowić wartościowy materiał do przygotowania bardziej szczegółowych modeli symulacyjnych, które pozwolą na testowanie szczegółowych usprawnień w organizacji ruchu i zmianę parametrów sterowania oraz opracowanie algorytmu automatycznego uruchamiania kontrapasa.

Literatura

1. Eurostat, Passenger Cars, by Type of Motor Energy. Available online: <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database> (accessed on 7 February 2018), 2015.
2. BP Energy Outlook. Available online: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook.html> (accessed on 7 February 2018), 2015.
3. Lerner W., *The Future of Urban Mobility. Towards Networked, Multimodal Cities of 2050*, Available online: <https://roberto-igarza.files.wordpress.com/2009/07/rep-the-future-of-urban-mobility-2050-little-2011.pdf> (accessed on 7 August 2019), 2011.
4. European Commission DG MOVE. Study to Support an Impact Assessment of the Urban Mobility Package; Activity 31 Sustainable Urban Mobility Plans Final Report; European Commission DG MOVE: Brussels, Belgium 2013.
5. Kirby A., *CCCC Kick the Habit, A UN Guide to Climate Neutrality*, UNEMG, UNEP/GRID-Arendal, 2008.
6. European Environment Agency, European Union emission inventory report 1990-2016, 2018. <https://www.eea.europa.eu/publications/european-union-emission-inventory-report-1>.
7. U.S. Energy Information Administration, "Annual Energy Review", 2011, 2012.
8. Commission of the European Communities. Green Paper. Towards a New Culture for Urban Mobility; Commission of the European Communities: Brussels, Belgium 2007.
9. OECD / ECMT, Managing Urban Traffic Congestion. Paris. Available Online at: http://www.oecd-ilibrary.org/transport/managing-urban-traffic-congestion_9789282101506-en, 2007.
10. Litman T., *Smart Congestion Relief. Comprehensive Evaluation Of Traffic Congestion Costs and Congestion Reduction Strategies*, Victoria Transport Policy Institute, 24 April 2014. : www.vtpi.org/cong_relief.pdf, 2014.
11. Holden E., Høyer K.G., *The ecological footprints of fuels*, Transportation. Res. Part D Transp. Environ. nr 10, 2005.
12. Moriarty P., Honnery D., *Low-mobility: The future of transport*, Futures nr 40, 2008.
13. Mallus M., Colistra G., Atzori L., Murrioni M., Piloni V., *Dynamic carpooling in urban areas: Design and experimentation with a multi-objective route matching algorithm*, Sustain nr 9, 2017.
14. Okraszewska R., Romanowska A., Wolek M., Oskarbski J., Birr K., Jamroz K., *Integration of a multilevel transport system model into sustainable Urban mobility planning*, Sustain, nr 10, 2018.
15. Litman T., *Measuring Transportation – Traffic, Mobility and Accessibility*, Institute of Transportation Engineers, ITE J nr 73, 2003.
16. Pooley C.G., Horton D., Scheldeman G., Mullen C., Jones T., Tight M., Jopson A., Chisholm A., *Policies for promoting walking and cycling in England: A view from the street*, "Transportation Policy", nr 27, 2013.
17. Rudolph F., *Analysing the impact of walking and cycling on urban road performance: a conceptual framework*, Project FLOW. Brussels. http://h2020flow.eu/fileadmin/templates/documents/Deliverables/FLOW_Conceptual_Framework_FINAL_web.pdf, 2017.
18. Oskarbski J., Gumińska L., Jamroz K., *Traffic users delays variability at pedestrian crossings*, Proc. 7th Transp. Res. Arena TRA 2018, (2018).
19. ZKM Gdynia, Transport preferences and behaviour of residents of Gdynia, Marketing Survey Report 2015, Gdynia 2015.
20. ZKM Gdynia, Transport preferences and behaviour of residents of Gdynia. Marketing Survey Report 2018, Gdynia 2018.
21. Oskarbski J., Birr K., Zarski K., *Use of data from satellite navigation system in operational and strategic management of transport in cities*, J. Konbin, nr 49, 2020.
22. Oskarbski J., Miszewski M., Żarski K., *Sterowanie ruchem w obszarze służ autobusowych na przykładzie Gdyni*, „Transport Miejski i Regionalny”, 2015, nr 4.
23. Oskarbski J., Birr K., Miszewski M., Zarski K., *Estimating the average speed of public transport vehicles based on traffic control system data*, in: 2015 Int. Conf. Model. Technol. Intell. Transp. Syst., IEEE, 2015.
24. Gdynia Open Data, (2019). <http://otwartedane.gdynia.pl>.
25. Cova T.J., Johnson J.P., *A network flow model for lanebased evacuation routing*, Transp. Res. Part A Policy Pract., nr 37, 2003.
26. Dey S., Ma J., Aden Y., *Reversible Lane Operation for Arterial Roadways: The Washington, DC, USA Experience*, ITE J., nr 81, 2011.
27. Kim S., Shekhar S., Min M., *Contraflow transportation network reconfiguration for evacuation route planning*, IEEE Trans. Knowl. Data Eng., nr 20, 2008.
28. Hausknecht M., Au T., Stone P., Fajardo D., Waller T., *Dynamic lane reversal in traffic management*, in: Proc. IEEE Intell. Transp. Syst. Conf. (ITSC), 2011.
29. Laurence L., Wolshon B., *Characterization and comparison of traffic flow on reversible roadways*, J. Adv. Transp., nr 44, 2010.
30. Oskarbski J., Mowiński K., Żarski K., *State of development of intelligent transport systems services on national roads in Poland*, Arch. Transp. Syst. Telemat., nr 10, 2017.
31. Oskarbski J., Marcinkowski T., Mowiński K., Żarski K., *Systematics of intelligent transport systems services*, in: MATEC Web Conf., 2017.
32. <https://www.zdiz.gdynia.pl/kontrapas-autobusowy-od-kuchni/>, 2019.