

GONDEK Stanisław<sup>1</sup>

## **ANALIZA MOŻLIWOŚCI POPRAWY EFEKTYWNOŚCI PRZEJŚCIA DLA PIESZYCH Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA**

*Sygnalizacja świetlna na przejściach dla pieszych zwiększa bezpieczeństwo pieszych przy przekraczaniu jezdni kosztem pogorszenia warunków ruchu pojazdów. Wynikająca z przepisów długość fazy dla pieszych nie zawsze jest w pełni wykorzystywana przez pieszych. Systemy detekcji pozwalające wykryć obecność pieszego na jezdni mogą pozwolić dostosować długość fazy do potrzeb pieszych. W referacie przedstawiono badania symulacyjne efektywności nowej strategii sterowania polegającej na skróceniu fazy dla pieszych jeżeli detekcja potwierdzi brak pieszego na jezdni. Opisano również opracowany dla potrzeb badań model i program symulacyjny. Wyniki badań pokazują, że zaproponowana strategia sterowania mogłaby poprawić płynność jazdy pojazdów oraz obniżyć straty czasu pojazdów i pieszych.*

## **ANALYSIS OF POSSIBILITY OF IMPROVEMENT OF SIGNALIZED PEDESTRIAN CROSSWALK EFFECTIVENESS**

*Signalization on pedestrian crosswalks improves safety of pedestrians passing the street at the cost of worse traffic conditions for vehicles. The pedestrian signal phase, its length being prescribed by law, is not always being used by pedestrians in full. Detection systems that identify pedestrians on a crosswalk, can make it possible to adjust the phase length to pedestrians' needs. The paper presents a simulation of effectiveness of a new control strategy, which shortens the pedestrian signal phase in a case when no pedestrian is being detected on a crosswalk. A prepared model and a simulation program are described as well. Our results demonstrate that the strategy we propose might improve traffic fluency and decrease time loss for both vehicles and pedestrians.*

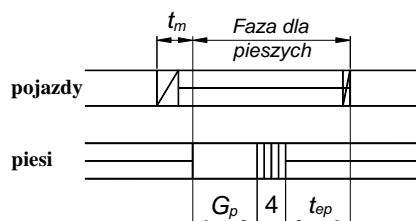
### **1. WPROWADZENIE**

W celu zwiększenia bezpieczeństwa pieszych na przejściach przez ulice coraz powszechniej stosuje się sygnalizację świetlną, zwłaszcza w przypadku dużych natężeń pojazdów i dopuszczonych wysokich prędkościach jazdy (powyżej 50 km/h). Należy jednak podkreślić, że poprawa bezpieczeństwa na przejściach z sygnalizacją świetlną powoduje pogorszenie warunków ruchu pojazdów i pieszych wynikające z zakazu wjazdu/wchodzenia podczas nadawania sygnału czerwonego na sygnalizatorach. Faza

---

<sup>1</sup> Politechnika Krakowska, Katedra Budowy Dróg i Inżynierii Ruchu, ul. Warszawska 24,  
31-155 Kraków, tel. +48 12 628-25-39, fax. +48 12 628-23-28, e-mail: sgondek@pk.edu.pl

ruchu dla pieszych (rys. 1) składa się z ciągłego sygnału zielonego  $G_p$ , który, jak wynika z przepisów [1], ma mieć długość co najmniej 100% czasu przejścia przez całe przejście przy prędkości pieszego równej 1.4 m/s, 4 s migającego sygnału zielonego oraz czasu międzzielonego  $t_{ep}$  o długości równej czasowi przejścia przez całą jezdnię przy prędkości ewakuacji równej 1.4 m/s (po zaokrągleniu do większej wartości całkowitej).

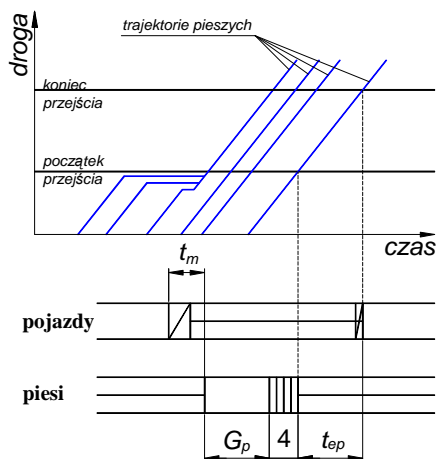


Rys. 1. Elementy składowe fazy dla pieszych

Dla sygnałów dotyczących pieszych przepisy [1] podają, że:

- **sygnał zielony migający oznacza zezwolenie na przechodzenie**, lecz nakazuje jak najszybsze jego zakończenie oraz informuje pieszego, że za chwilę zapali się sygnał czerwony,
- minimalna długość ciągłego sygnału zielonego dla pieszych wynosi 4 s,
- w sytuacjach szczególnie uzasadnionych dopuszcza się skrócenie sygnału zielonego dla pieszych i rowerzystów do 75% czasu przejścia/przejazdu.

W przypadku fazy dla pieszych zakłada się, że ostatni pieszy wchodzi na przejście w ostatniej sekundzie migającego sygnału zielonego co przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Przypadek pełnego wykorzystania fazy dla pieszych

W przypadku braku pieszych wchodzących na przejście w czasie migającego i końcowym okresie ciągłego sygnału zielonego część fazy dla pieszych nie zostaje wykorzystana co powoduje niepotrzebne straty czasu dla oczekujących przed przejściem pojazdów oraz irytację kierowców, którzy nie widząc pieszych na przejściu mają nadal

sygnał czerwony na sygnalizatorze zabraniający jazdy. Rozwiązaniem tego problemu byłoby dostosowanie długości fazy dla pieszych do rzeczywistych potrzeb, co jednak wymagałoby zastosowania detekcji pieszych na przejściu oraz zmiany przepisów dopuszczających taką możliwość.

Obecne systemy detekcji pojazdów i pieszych umożliwiają zastosowanie różnych strategii sterowania na przejściach dla pieszych z sygnalizacją świetlną, które mogą zminimalizować niekorzystny wpływ sygnalizacji na warunki ruchu pojazdów. Powinno się jednak przeanalizować czy koszty wprowadzenia i eksploatacji zaawansowanych strategii sterowania nie przekroczą efektów wynikających ze zmniejszenia strat czasu pojazdów.

Użytecznym narzędziem do analiz efektywności zaproponowanej strategii sterowania na przejściu dla pieszych może być program symulacyjny **PPzSS**, który odwzorowuje przebieg potoków ruchu i oblicza miary efektywności potoków pojazdów i pieszych, co umożliwi ocenę efektywności sterowania.

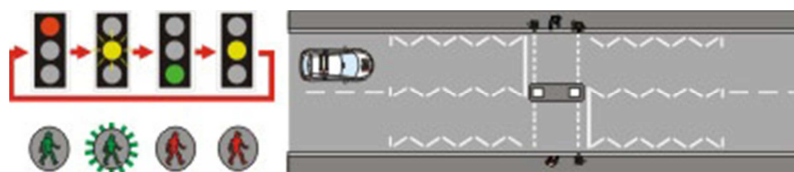
W referacie przedstawiono strategię sterowania dla przejść dla pieszych z sygnalizacją świetlną stosowane w innych krajach, opisano model i program symulacyjny **PPzSS** oraz przedstawiono wybrane wyniki badań symulacyjnych pokazujące efektywność przejść dla pieszych dla zaproponowanej strategii sterowania.

## 2. STRATEGIE STEROWANIA STOSOWANE W INNYCH KRAJACH

Analiza rozwiązań przejść dla pieszych z sygnalizacją świetlną stosowanych w krajach o wyższym wskaźniku motoryzacji mogą stanowić inspirację do zastosowania w warunkach krajowych bardziej efektywnych strategii sterowania. Przegląd prowadzony pod kątem dostosowania długości fazy dla pieszych do rzeczywistych potrzeb pozwolił na zidentyfikowanie następujących rozwiązań:

- przejście **PELICAN** [2],

Zaczęto je stosować od 1969 r. w Wielkiej Brytanii a nazwa pochodzi od **PE**destrian **L**ight **CON**trolled. Jest to sygnalizacja wzbudzana z nadawaniem sygnałów zielonych dla pojazdów w przypadku braku zgłoszeń od pieszych. Sygnalizatory dla pieszych są zlokalizowane po drugiej stronie ulicy i wyświetlają czerwoną i zieloną sylwetkę pieszego. Migająca zielona sylwetka pieszego oznacza brak możliwości wejścia na przejście i towarzyszy jej migający sygnał żółty dla pojazdów (rys. 3) oznaczający możliwość jazdy pojazdów gdy brak jest pieszego na przejściu.



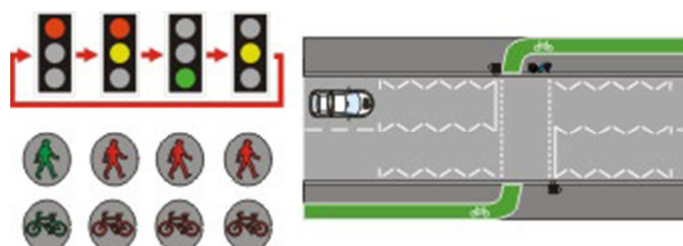
Rys. 3. Sekwencja sygnałów i plan przejścia PELICAN (<http://www.learnerdriving.com/>)

Rozwiązanie to pozwala na wykorzystanie czasu ewakuacji dla pieszych przez pojazdy gdy na przejściu brak pieszego i wymaga dużej kultury jazdy od kierowców.

- przejście **TOUCAN** [2],

Zaczęto je stosować w latach 90-tych w Wielkiej Brytanii a nazwa pochodzi od możliwości korzystania z niego zarówno przez pieszych jak i rowerzystów (two-can).

Zasada działania jest taka jak na przejściu **PELICAN** z tą różnicą, że migający sygnał żółty dla pojazdów zastąpił sygnał żółto-czerwony (rys. 4). Sygnalizatory dla pieszych i rowerzystów mogą być zlokalizowane zarówno po jednej jak i po drugiej stronie ulicy i wyświetlają czerwone i zielone sylwetki pieszego i roweru jak pokazano na rys. 5.



Rys. 4. Sekwencja sygnałów i plan przejścia **TOUCAN** (<http://www.learnerdriving.com/>)



Rys. 5. Sygnalizator dla pieszych i rowerzystów (<http://www.learnerdriving.com/>)

- przejście **PUFFIN** [2],

Zaczęto je stosować w latach 90-tych w Wielkiej Brytanii a nazwa pochodzi od **P**edestrian **U**ser-**F**riendly **I**nterface. Jest to sygnalizacja wzbudzana z detekcją obecności pieszego w strefie oczekiwania na przejście i na jezdni (rys. 6). Sygnalizatory dla pieszych są zlokalizowane po tej samej stronie ulicy co pieszy prostopadle do krawędzi jezdni – podyktowane jest to możliwością jednoczesnej obserwacji sygnałów i potoku ruchu dojeżdżającego do przejścia oraz poprawą dostrzegalności sygnałów dla osób gorzej widzących i wyświetlają czerwoną i zieloną sylwetkę pieszego.



Rys. 6. Sekwencja sygnałów i plan przejścia **PELICAN** (<http://www.learnerdriving.com/>)

Detekcja pieszych pozwala zarówno na rezygnację z przejścia do fazy dla pieszych w przypadku braku pieszego w strefie oczekiwania (przedwczesne przejście, rezygnacja

z przejścia lub oczekiwanie poza strefą detekcji) jak i przedłużenia sygnału zielonego dla wolniej idącego pieszego.

- sygnalizacja ostrzegawcza **HAWK** [3],

W 2004 r. w USA wprowadzono innowacyjne przejście z światłami ostrzegawczymi **HAWK** (**H**igh-Intensity **A**ctivated **C**ross **W**alk) na standardowo wyposażonych przejściach dla pieszych (rys. 7). Dla pojazdów zastosowano zestawy 3 komór: 2 dla sygnału czerwonego nad jedną dla sygnału żółtego. W stanie ustalonym nie wyświetlają one sygnałów i aktywują się tylko w przypadku zapotrzebowania pieszego na przejście przez ulicę (po naciśnięciu przycisku dla pieszych). Na rys. 8 przedstawiono sekwencję sygnałów dla pojazdów i pieszych wraz z ich znaczeniem dla sygnalizatorów ostrzegawczych **HAWK**. Dopuszczono możliwość jazdy pojazdów w czasie ewakuacji pieszych pod warunkiem, że brak jest pieszego w korytarzu jazdy. Pieszy jest również informowany o czasie, który mu pozostał do opuszczenia przejścia przez licznik czasu.

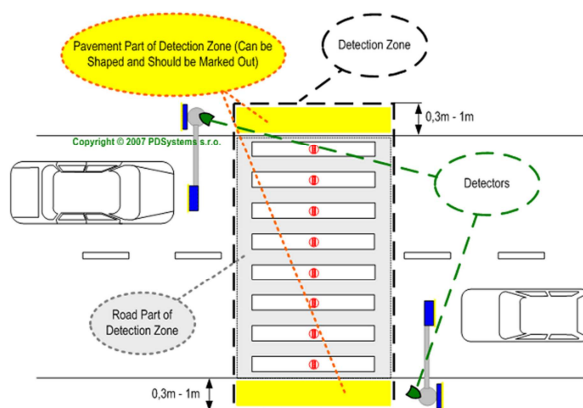


Rys. 7. Przejście z sygnalizatorami ostrzegawczymi **HAWK** (<http://www.fhwa.dot.gov/>)



Rys. 8. Sekwencja sygnałów dla pojazdów i pieszych wraz ich znaczeniem dla sygnalizatorów ostrzegawczych **HAWK** (<http://www.lxinfo.org/>)

Przedstawione rozwiązania pokazują, że w czasie ewakuacji dla pieszych można warunkowo dopuścić ruch pojazdów poprawiając efektywność sterowania. Takie rozwiązanie wymaga jednak wysokiej kultury w relacji kierowca – pojazd. Wprowadzając detekcję pieszych tak jak w przypadku przejścia **PUFFIN** można zarówno podnieść ich bezpieczeństwo (wydłużenie fazy w przypadku wolniej idących pieszych) jak i zwiększyć efektywność sterowania (skrócenie fazy dla pieszych w przypadku ich braku na jezdni). Detekcja pieszych powinna obejmować oddzielne strefy oczekiwania na przejściu (na chodniku) i przejście przez jezdnię (rys. 9) aby podnieść efektywność sterowania.

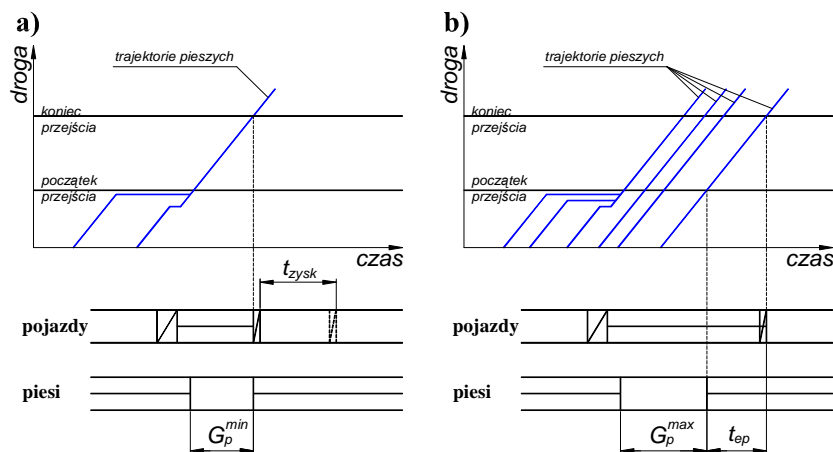


Rys. 9. Lokalizacja detektorów i strefy detekcji pieszych (<http://www.bezpiecneprechody.cz/>)

### 3. PROPOZYCJA STRATEGII STEROWANIA NA PRZEJŚCIU DLA PIESZYCH

Propozycja strategii sterowania bazuje na następujących założeniach:

- przejście zlokalizowane jest na ulicy jednojezdniowej (dopuszcza się wysepkę dzielącą),
- sygnalizatory dla pieszych nadają jedynie czerwone i zielone sygnały,
- na słupkach sygnalizacyjnych zlokalizowane są przyciski dla pieszych oraz detektory pozwalające wykryć obecność pieszego oddzielnie dla strefy oczekiwania (obszary na chodnikach przy przejściu po obu stronach ulicy) i strefy przejścia przez jezdnię. Te założenia pozwoliły zaproponować następującą strategię sterowania (rys. 10):



Rys. 10. Propozycja strategii sterowania na przejściu dla pieszych

- w stanie ustalonym (brak zgłoszenia od pieszych) nadawane są sygnały zielone dla pojazdów i czerwone dla pieszych,
- po zgłoszeniu pieszego (przez naciśnięcie przycisku dla pieszych) następuje przejście do fazy dla pieszych po czasie międzycielonym dla pojazdów przy założeniu, że sygnał zielony dla pojazdów nie jest krótszy od wartości minimalnej,
- przy braku przybywających pieszych w czasie sygnału zielonego następuje zakończenie sygnału zielonego dla pieszych po czasie  $G_p^{min}$  i po czasie sygnału żółto-czerwonego (1 s) przejście do sygnału zielonego dla pojazdów (przypadek a) na rys. 10),
- w przypadku zgłoszeń kolejnych pieszych sygnał zielony jest wydłużany do wartości  $G_p^{max}$  i po czasie ewakuacji dla pieszych  $t_{ep}$  przejście do sygnału zielonego dla pojazdów (przypadek b) na rys. 10),

Stosując tą strategię możemy odzyskać część fazy dla pieszych w przypadku niepełnego jej wykorzystania i przeznaczyć ją dla pojazdów zmniejszając ich straty czasu i poprawiając płynność jazdy. Jak pokazano na rys. 10 maksymalna wartość odzyskanego czasu wynosi  $t_{zysk}$ .

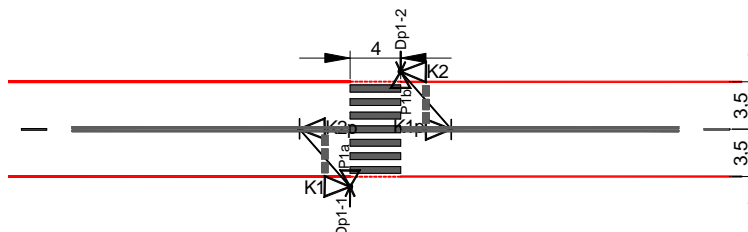
Efektywność zaproponowanej strategii sterowania w porównaniu z tradycyjną sygnalizacją wzbudzaną dla pieszych sprawdzono wykorzystując opracowany model symulacyjny **PPzSS**.

#### 4. MODEL I PROGRAM SYMULACYJNY PPzSS

W celu sprawdzenia wpływu zaproponowanej strategii sterowania eliminującej niewykorzystywane okresy czasu w fazie dla pieszych na warunki ruchu pojazdów i pieszych opracowano model symulacyjny i program komputerowy **PPzSS**.

##### 4.1 Model symulacyjny

Do modelowania przyjęto przejście dla pieszych z sygnalizacją świetlną na drodze dwupasowej, dwukierunkowej a plan sytuacyjny przedstawiono na rys. 11.



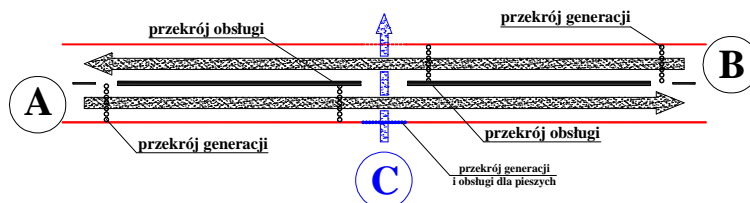
Rys. 11. Plan sytuacyjny przejścia dla pieszych z sygnalizacją świetlną

Założono szerokości pasów ruchu równe 3,5 m. Dla pojazdów przyjęto sygnalizatory podstawowe zlokalizowane na słupkach sygnalizacyjnych (K1 i K2) oraz powtarzacze na wysięgnikach (K1p i K2p). Dla pieszych przyjęto parę sygnalizatorów (P1a i P1b) oraz przyciski dla pieszych na słupkach sygnalizacyjnych (Dp1-1 i Dp1-2). Nie uwzględniono detektorów ruchu dla pojazdów ponieważ w stanie ustalonym zawsze nadawane są sygnały zielone dla pojazdów niezależnie od tego czy jest zapotrzebowanie na ich obsłudze.

Mając na uwadze cel budowy modelu przyjęto następujące założenia:

- przejście dla pieszych zlokalizowane jest na terenie miejskim z ograniczeniem prędkości przed przejściem do 50 km/h dla obu kierunków,
- potok pojazdów składa się tylko z pojazdów osobowych przy przyjęciu równego obciążenia ruchem obu kierunków,
- potok pieszych porusza się tylko w jednym kierunku.

Odwzorowanie przejścia dla pieszych z sygnalizacją świetlną pokazano na rys. 12. Kierunki ruchu pojazdów oznaczono literami A i B a pieszych literą C.



Rys. 12. Modelowe odwzorowanie przejścia dla pieszych z sygnalizacją świetlną

Opracowywany model należy do mikromodeli symulacyjnych, w których przegląd sytuacji ruchowych zachodzących w obrębie przejścia dla pieszych jest dokonywany metodą „kolejnych zdarzeń” w wyróżnionych przekrojach (generacji i decyzji) i obejmuje także śledzenie zmian w strefach dojazdu do przejścia zajętych przez kolejkę oraz uwzględnia zgłoszenia od pieszych.

W modelu można wyróżnić dwa zasadnicze procesy:

- **proces zgłoszeń** realizujący zarówno generację pojazdów dojeżdżających do przejścia dla pieszych oraz ich przemieszczanie wzdłuż drogi wraz z oczekiwaniem w kolejce pojazdów, gdy ich ruch jest zatrzymywany przez sygnał czerwony jak i generowanie pieszych,
- **proces obsługi** z realizacją przejazdu przez pojazdy znajdujące się w przekrojach decyzji i przejścia pieszych w czasie trwania efektywnego sygnału zielonego.



Przyjęto następujące, ogólne założenia dla *procesu zgłoszeń*:

- zgłoszenia pojazdów i pieszych opisywane są przez odstępy czasu między kolejnymi obiektami,
- pojazdy są generowane dla każdego kierunku z rozkładu wykładniczego przesuniętego w przekroju oddalonym od linii zatrzymań na taką odległość, w jakiej możliwy jest do pominięcia wpływ sytuacji ruchowej przed przejściem na zgłoszenia pojazdów,
- piesi są generowani dla jednego kierunku przechodzenia z rozkładu wykładniczego,
- proces tworzenia kolejki jest warunkowany czasem dołączenia kolejnego pojazdu do końca kolejki oraz momentem ruszenia ostatniego pojazdu z kolejki,
- pojazdy zmieniają swoją pozycję w kolejce ruszając z opóźnieniem  $\gamma$  w stosunku do pojazdu poprzedzającego.

Założenia dla *procesu obsługi* są następujące:

- program sygnalizacji dla pojazdów odwzorowany jest przez efektywne sygnały zielony i czerwony,
- przejazd pojazdów przez linię zatrzymań odbywa się w czasie nadawania efektywnego sygnału zielonego,
- zjazd pojazdów z kolejki powstałej na sygnale czerwonym realizowany jest z odstępami czasu  $\Delta t$ ,
- obsługa pieszych odbywa się w czasie sygnału zielonego ciągłego (dla obu strategii) i migającego (w przypadku sygnalizacji wzbudzonej),
- przyjęto dwie strategie sterowania:
  - *sygnalizacja wzbudzana* – przydzielanie sygnału zielonego następuje po zgłoszeniu zapotrzebowania przez pieszego o długości zapewniającej przejście przez całe przejście (nie wcześniej niż po realizacji minimalnego sygnału zielonego dla pojazdów),
  - *proponowana strategia* – opisana w p. 4.

Model matematyczny dla modelu przejścia dla pieszych opracowano w postaci schematu blokowego, który ułatwił zarówno realizację jego implementacji komputerowej, jak i przeprowadzenie etapu testowania modelu.

#### 4.2 Program symulacyjny PPzSS

Do opracowania programu komputerowego wykorzystano język programowania wyższego rzędu FORTRAN 95. Program komputerowy **PPzSS** został napisany z wykorzystaniem języka Compaq Visual Fortran 6.6. Do generowania odstępów czasu pomiędzy pojazdami i pieszymi zastosowano generatory liczb losowych znajdujące się w bibliotece matematycznej IMSL.

Program komputerowy **PPzSS** ma program główny i 4 podprogramy typu SUBROUTINE do generowania odstępów czasu dla pojazdów i pieszych oraz obsługi kolejek pojazdów na obu kierunkach ruchu i obliczeń wyników symulacyjnych. Program źródłowy liczy 565 linie a program wykonywalny EXE 602 KB. Dane do programu umieszczone są na dysku w postaci pliku ASCII o rozszerzeniu TXT. Program po uruchomieniu wczytuje te dane i przystępuje do obliczeń symulacyjnych.

Program tworzy plik z echem danych w celu sprawdzenia poprawności ich odczytania przez program oraz plik z wynikami obliczeń symulacyjnych o nazwie WYNIKI.TXT

zawierający dla każdej strategii sterowania liczby obsłużonych pojazdów i pieszych w czasie symulacji oraz miary warunków ruchu (straty czasu, zatrzymania i kolejki).

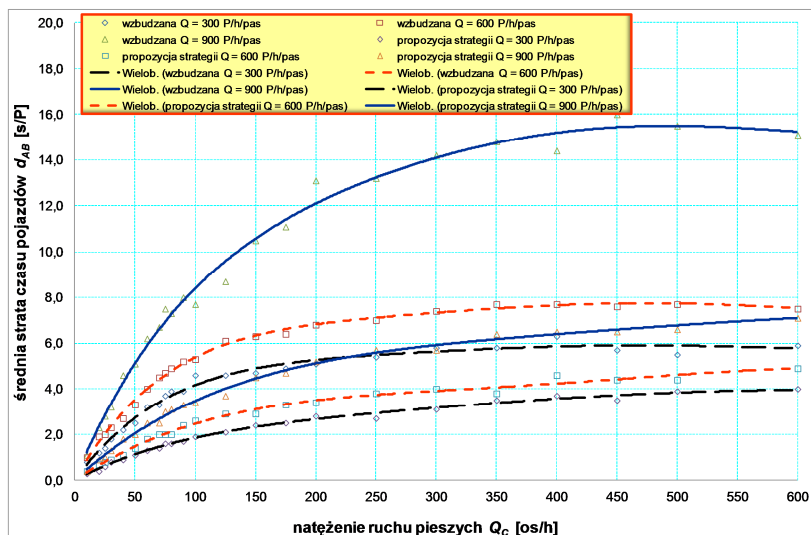
## 5. WYNIKI BADAŃ SYMULACYJNYCH

Wykorzystując opracowany program symulacyjny **PPzSS** wykonano serię obliczeń mających na celu zbadanie wpływu strategii sterowania na efektywność przejścia dla pieszych z sygnalizacją świetlną. Miarą efektywności są średnie straty czasu, które są podstawowym kryterium oceny poziomów swobody ruchu stosowanym w inżynierii ruchu. Dodatkowym parametrem jest wskaźnik zatrzymań, który podaje udział pojazdów/pieszych ponoszących straty czasu w całkowitym potoku ruchu pojazdów/pieszych.

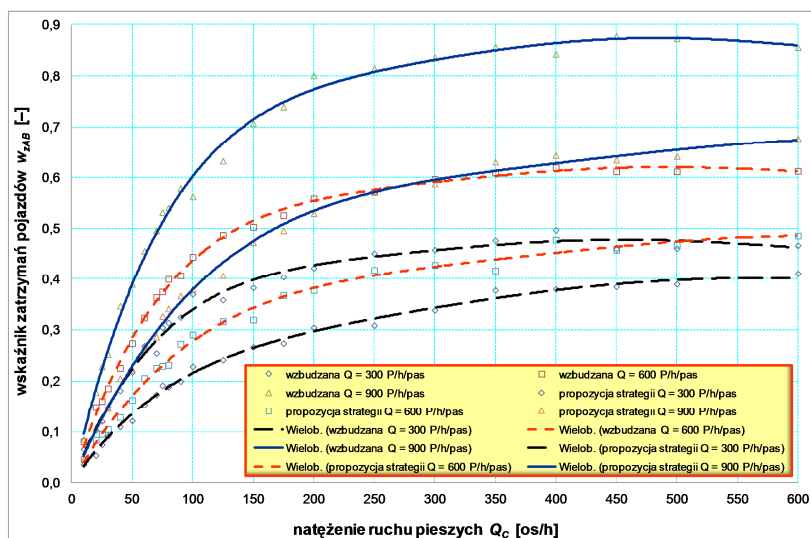
Efektywność strategii sterowania zależy od wzbudzeń pochodzących od pieszych naciskających przycisk na słupku sygnalizacyjnym, dlatego też analizy objęły badanie zmienności parametrów potoków pojazdów i pieszych od natężenia ruchu pieszych  $Q_C$  [os/h]. Obliczenia symulacyjne zostały wykonane dla następujących wartości danych wejściowych:

- natężenie pojazdów 300, 600 i 900 P/h w jednym kierunku (na obu kierunkach ruchu założono taką samą wartość natężenia ruchu),
- natężenie pieszych zmieniano w zakresie  $10 \div 600$  os/h z krokiem 10, 25 i 50 os/h,
- parametry programu sygnalizacji dla analizowanych strategii sterowania:
  - dla sygnalizacji wzbudzonej przyjęto minimalną długość sygnału zielonego dla pojazdów  $G_{min} = 25$  s a długość ciągłego sygnału zielonego dla pieszych  $G_p = 5$  s,
  - dla proponowanej strategii przyjęto minimalną długość sygnału zielonego dla pieszych  $G_p^{min} = 5$  s a sygnał zielony dla pojazdów rozpoczyna się 1 s po zejściu ostatniego pieszego; maksymalna wartość  $t_{zysk} = 8$  s,
- pozostałe parametry miały wartości defaultowe i nie były zmieniane w czasie obliczeń symulacyjnych.

Na rys. 13 przedstawiono zależności średnich strat czasu pojazdów  $d_{AB}$  od natężenia ruchu pieszych  $Q_C$  dla 3 poziomów natężeń ruchu pojazdów i analizowanych strategii sterowania a na rys. 14 podobne zależności dla wskaźnika zatrzymań  $w_{zAB}$ . Uzyskane zależności dla obu badanych parametrów mają podobny przebieg i są zgodne z teorią inżynierii ruchu.



Rys. 13. Zależność średnich strat czasu pojazdów  $d_{AB}$  od natężenia ruchu pieszych  $Q_C$  dla różnych natężeń pojazdów oraz analizowanych strategii sterowania



Rys. 14. Zależność wskaźnika zatrzymań pojazdów  $w_{zAB}$  od natężenia ruchu pieszych  $Q_C$  dla różnych natężeń pojazdów oraz analizowanych strategii sterowania

Uzyskane wyniki dla przyjętych danych pozwalają stwierdzić, że:

- zaproponowana strategia sterowania daje znaczne zmniejszenie strat czasu  $d_{AB}$  (zakres 40 ÷ 60 %) oraz wskaźnika zatrzymań  $w_{zAB}$  (zakres 20 ÷ 40 %) w stosunku do sygnalizacji wzbudzonej – dla większych natężeń pojazdów zysk jest większy,
- za wzrostem natężenia pieszych można zauważyć nieco mniejsze zyski dla



- oczekiwania poza strefą detekcji – eliminuje się niepotrzebne zatrzymania pojazdów przed przejściem oraz unika zdenerwowania kierowców, którzy irytują się widząc sygnał zielony dla pieszych i brak pieszych korzystających z przejścia,
- wydlużenie fazy dla pieszych w przypadku ewakuacji pieszych poruszających się wolniej od przyjętej prędkości ewakuacji (1.4 m/s) – podnosi się bezpieczeństwo pieszych przez opóźnienie sygnału zielonego dla pojazdów do czasu opuszczenia przejścia przez ostatniego pieszego (eliminacja przypadków „przeganiania” pieszych przez ruszające pojazdy),
  - skrócenie fazy dla pieszych w przypadku braku zgłoszeń kolejnych pieszych w czasie nadawania sygnału zielonego – eliminacja niewykorzystanego okresu fazy dla pieszych zmniejsza straty czasu pojazdów oczekujących na sygnale czerwonym co poprawia efektywność przejścia.
- opracowany model symulacyjny i jego implementacja komputerowa **PPzSS** odwzorowująca przejście dla pieszych z sygnalizacją świetlną, pomimo przyjętych uproszczeń modelowych, jest użytecznym narzędziem wykorzystywanym przy analizach efektywności różnych strategii sterowania sygnalizacją,
  - proponowana strategia sterowania wymagałaby zastosowania systemu detekcji pieszych oraz wprowadzenia zmian prawnych pozwalających na rezygnację z migającego sygnału zielonego dla pieszych oraz dopuszczenie skrócenia czasu ewakuacji przy braku pieszych wchodzących na przejście w końcowym fragmencie sygnału zielonego,
  - **proponowana strategia pozwoliłaby znacznie zredukować miary efektywności przejścia dla pieszych – średnio o 40 % kosztem zainstalowania i eksploatacji systemu detekcji pieszych,**
  - obliczenia symulacyjne zostały przeprowadzone dla przejścia przez 2 pasy ruchu o długości 7 m – przy dłuższych przejściach czasy ewakuacji pieszych wydłużają się, a więc zyski z zastosowania proponowanej strategii powinny być jeszcze większe,
  - uzyskane wyniki pozwalają rekomendować do stosowania na przejściach dla pieszych proponowaną strategię sterowania, która poprawiłaby zarówno efektywność jego działania jak i zwiększyła bezpieczeństwa pieszych,
  - możliwości programu komputerowego **PPzSS** można rozszerzyć poprzez jego rozbudowę o elementy wierniej odwzorowujące rzeczywiste warunki.

## 7. LITERATURA

- [1] *Szczegółowe warunki techniczne dla sygnałów drogowych i warunki ich umieszczenia na drogach*. Załącznik nr 3 do Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 3.07.2003 r. Dz. U. nr 220, poz. 2181 z dnia 23.12.2003 r.
- [2] Davies D. G.: *Research, Development, and Implementation of Pedestrian Safety Facilities in the United Kingdom*. University of North Carolina, Highway Safety Research Center, FHWA-RD-99-089, December 1999.
- [3] <http://www.dot.ri.gov/highwaysafety/hawk.asp>: *HAWK Traffic Signals*.