

Krzysztof Małecki¹, Jarosław Wątróbski²
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Przepustowość skrzyżowań o ruchu okrężnym jako element logistyki miejskiej³

Zasady funkcjonowania ruchu okrężnego w Polsce

Ustawą regulującą przepisy poruszania się w ruchu drogowym jest ustawa „Prawo o ruchu drogowym” wprowadzona 20 czerwca 1997 roku i potocznie zwana „kodeksem drogowym”. Ustawa reguluje zasady ruchu na drogach publicznych oraz w strefach zamieszkania, warunki dopuszczenia pojazdów do tego ruchu, wymagania w stosunku do osób kierujących pojazdami i innych uczestników ruchu oraz zasady kontroli ruchu drogowego⁴. Dokument ten nie zawiera określenia „rondo” – potocznej nazwy oznaczającej „skrzyżowanie o ruchu okrężnym”.

Jak podaje podręcznik do nauki jazdy, „Rondo jest to skrzyżowanie dróg o ruchu okrężnym, gdzie ruch pojazdów odbywa się odwrotnie do ruchu wskazówek zegara. Rondo w każdym przypadku w centralnej swojej części posiada wysepkę, która jest wyłączona z ruchu pojazdów z wyjątkiem (czasami) ruchu tramwajów”⁵.

Skrzyżowanie o ruchu okrężnym jest dobrym rozwiązaniem, stosowanym głównie na terenach miejskich; często stosowane w krajach o dużym bezpieczeństwie ruchu. W porównaniu do innych skrzyżowań, rondo zwiększają przepustowość oraz zmniejszają zatory drogowe. Dzięki temu usprawniają ruch. Na rondach występuje mniej, niż w innych rodzajach skrzyżowań, punktów, w których może dojść do wypadku i kolizji. Konstrukcja ronda zmusza wjeżdżającego do zmniejszenia prędkości i umożliwia do-

brą widoczność uczestnikom ruchu, co zwiększa bezpieczeństwo.

Jak pokazują badania⁶, na rondach ogólnie występuje 5 razy mniej wypadków, niż na innych skrzyżowaniach, a w miastach 2 razy mniej. Dzięki zastosowaniu rond liczba wypadków śmiertelnych spada o ponad 95%. W roku 2007 doszło do 460 wypadków na rondach, podczas gdy na innych skrzyżowaniach wystąpiło 14 336 wypadków. Wśród tych wypadków, liczba wypadków z ofiarami śmiertelnymi wyniosła 14 ofiar śmiertelnych na rondach i 826 na pozostałych skrzyżowaniach⁷.

Cel opracowania systemu symulacji ruchu okrężnego

Symulacja jest to badanie zachowania danego systemu, będącego przedmiotem symulacji, w zależności od określonych parametrów wejściowych. Zmiany parametrów wejściowych powodują zmiany na wyjściu systemu. Symulacja ma za zadanie zbudowanie modelu matematycznego, wiążącego w taki sposób dane parametry wejściowe, aby uzyskać określony wynik na wyjściu systemu⁸. Przedmiot badań nie musi istnieć w rzeczywistości podczas przeprowadzania symulacji. Symulacja może wykazać, że taki przedmiot może powstać, jeśli wyniki symulacji są pozytywne.

Badanie danego systemu można przeprowadzić drogą empiryczną, jeśli istnieją techniczne możliwości oraz czas i koszty realizacji są do zaakceptowania. W przeciwnym razie, do przeprowadze-

nia badań można posłużyć się techniką symulacji komputerowej.

Istnieją dwa rodzaje symulacji komputerowych: symulacje z czasem dyskretnym oraz symulacje z czasem ciągłym. Symulacje z czasem dyskretnym wykorzystywane są do badania zachowań systemów rzeczywistych i hipotetycznych. Natomiast symulacje z czasem ciągłym są do badania systemów, w których dominują zmiany o charakterze ciągłym. W przypadku symulacji ruchu okrężnego wykorzystana zostanie metoda z czasem dyskretnym. Dyskretna symulacja komputerowa ma wiele zalet, między innymi:

- możliwość zdobycia wielu informacji na temat badanego systemu już w fazie projektowania. Dzięki temu odpowiedzi na niektóre pytania dotyczące systemu można uzyskać bez konieczności jego budowania i testowania (na przykład metodą prób i błędów)
- określenie celu symulacji oraz dostosowanie do niego parametrów wejściowych umożliwia badanie zachowania systemu w różnych warunkach, nawet w tych, które trudno jest uzyskać w rzeczywistości (rzadko występują), czy nawet takich, które jeszcze w rzeczywistości nie występują
- symulacja komputerowa jest procesem, który w prosty sposób można powtórzyć. Dzięki tej właściwości umożliwia ona przeprowadzenie wielu badań niewielkim kosztem
- czas symulacji może być wielokrotnie skrócony w zależności od mocy obliczeniowej komputera
- elastyczność symulacji pozwala na przeprowadzanie badań na systemach

¹ Dr inż. K. Małecki jest adiunktem w Katedrze Architektury Komputerów i Telekomunikacji Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie oraz starszym wykładowcą w Instytucie Zarządzania Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Gorzowie Wielkopolskim (przyp. red.).

² Dr inż. J. Wątróbski jest adiunktem w Katedrze Inżynierii Systemów Informatycznych Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie oraz wykładowcą w Instytucie Zarządzania Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Gorzowie Wielkopolskim (przyp. red.).

³ Artykuł recenzowany (przyp. red.).

⁴ *Prawo o ruchu drogowym*, Ustawa z dnia 20 czerwca 1997, www.kodeksdrogowy.pl, 2008.

⁵ Z. Papuga: *ABC Podręcznik kierowcy*, Agencja Wydawnicza LIWONA, Warszawa 2005.

⁶ *Nowości zagranicznej techniki drogowej*. Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 1991.

⁷ *Wypadki Drogowe w Polsce w 2007 roku*, Komenda Główna Policji, Warszawa 2008.

⁸ Gordon G.: *Symulacja systemów*, WNT, Warszawa 1974.

rzeczywistych oraz hipotetycznych, co umożliwi opracowanie nowych skuteczniejszych systemów

- na podstawie symulacji systemu można określić jego użyteczność w zależności od wyniku symulacji. W przypadku wyniku negatywnego koszt poniesiony na przeprowadzenie symulacji nie jest tak duży, jak w przypadku rzeczywistej budowy systemu, przeprowadzenia badań oraz jego likwidacji.

Symulacja ruchu drogowego jest trudnym obszarem badań, ze względu na występowanie wielu czynników, uniemożliwiających określenie jego jednoznacznej charakterystyki. W realizacji istotną rolę odgrywa także czynnik ludzki, a jednoznaczne określenie jego zachowania jest niemożliwe. W ruchu pojazdów występują zależności czasowo – przestrzenne, które mogą zostać określone przez funkcje matematyczne. Określone zostały zasady ruchu drogowego i za ich pomocą można opracować reguły, według których będzie realizowany proces ruchu.

Na potrzeby niniejszego artykułu opracowany został system symulacji ruchu okrężnego, gdzie danymi wejściowymi są:

- elementy składowe ronda: liczba wlotów/wydotów, liczba pasów na rondzie oraz wlotach, promień ronda, długość pasów wlotowych
- liczba wygenerowanych pojazdów na danym wlocie (stosunek wagowy względem pozostałych wlotów)
- liczba pojazdów kierujących się do

danego wylotu z określonego wlotu (wagowo)

- długość samochodów
- szybkość samochodów
- zasada pierwszeństwa uczestników ruchu znajdujących się na rondzie, bądź tych wjeżdżających na rondo
- procent pojazdów wjeżdżających na rondo bezpośrednio na pas zewnętrzny.

Dane wejściowe określają także formę oraz dokładność wyniku końcowego symulacji. Opracowane narzędzie pozwala określić:

- czas przeprowadzonej symulacji
- liczbę wygenerowanych pojazdów
- liczbę pojazdów, które opuściły rondo
- dla poszczególnych wlotów, statystykę określającą liczbę pojazdów, które opuściły rondo danym wylotem
- czas przejazdu przez rondo (minimalny, maksymalny, średni).

Celem opracowania systemu do symulacji ruchu pojazdów na skrzyżowaniu o ruchu okrężnym było przeprowadzenie badań umożliwiających określenie, czy wybór pasa na rondzie ma wpływ na przepustowość drogi. Badania pokazują, że spora część kierowców wybiera pas zewnętrzny bez względu na położenie wlotu, którym chce rondo opuścić. Takie zachowanie często tworzy zatory na rondzie i blokuje pojazdy chcące wjechać na skrzyżowanie. Opracowane oprogramowanie umożliwia porównanie przepustowości ronda w zależności od procen-

towego udziału kierowców poruszających się po zewnętrznym pasie, bez względu na położenie docelowego wlotu.

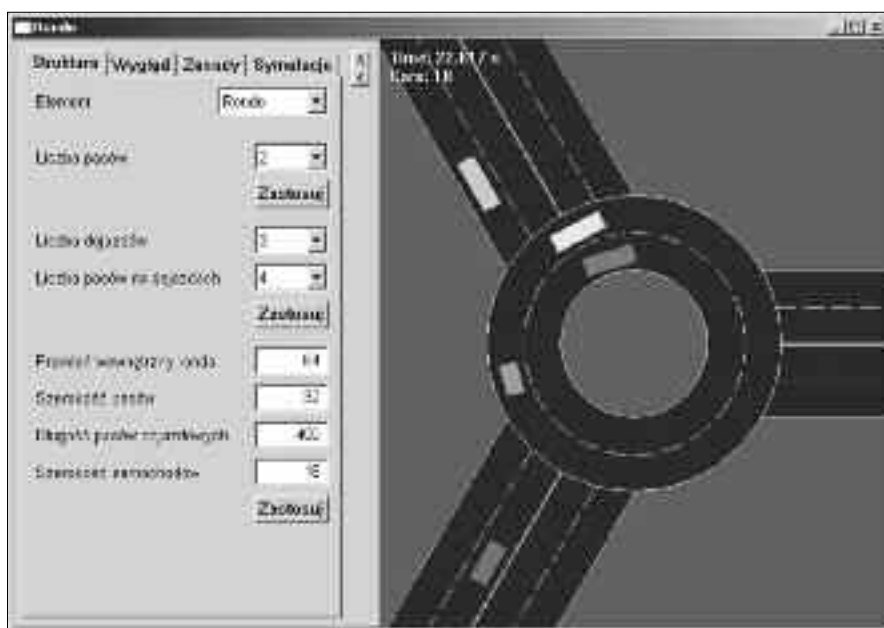
Opracowane oprogramowanie umożliwia przeprowadzenie symulacji ruchu na rondzie. Użytkownik ma możliwość określenia parametrów ronda, a także zasad na nim panujących. Program podzielony jest na dwie części: część nawigacyjną oraz część wizualną. Część nawigacyjna składa się z czterech zakładek umożliwiających skorzystanie z wielu parametrów, dzięki którym można dostosować obiekt badań do założonych kryteriów.

Zakończenie symulacji następuje, gdy wszystkie pojazdy opuszczą skrzyżowanie lub gdy symulacja zostanie zatrzymana przez użytkownika. Wynik symulacji zapisywany jest do pliku tekstowego. Zawarte są w nim takie informacje, jak: czas trwania symulacji, liczba samochodów na skrzyżowaniu, liczba wygenerowanych pojazdów na poszczególnych wlotach, liczba pojazdów, które opuściły skrzyżowanie określonym wylotem, liczba pojazdów, które przejechały z określonego wlotu do danego wylotu, minimalny i średni oraz maksymalny czas przejazdu przez skrzyżowanie dla pojazdów poruszających się poszczególnymi wlotami. W pliku tym, oprócz uzyskanych wyników, znajduje się także informacja o strukturze skrzyżowania, na którym odbywała się symulacja, parametrach wejściowych symulacji oraz zasadach panujących na skrzyżowaniu.

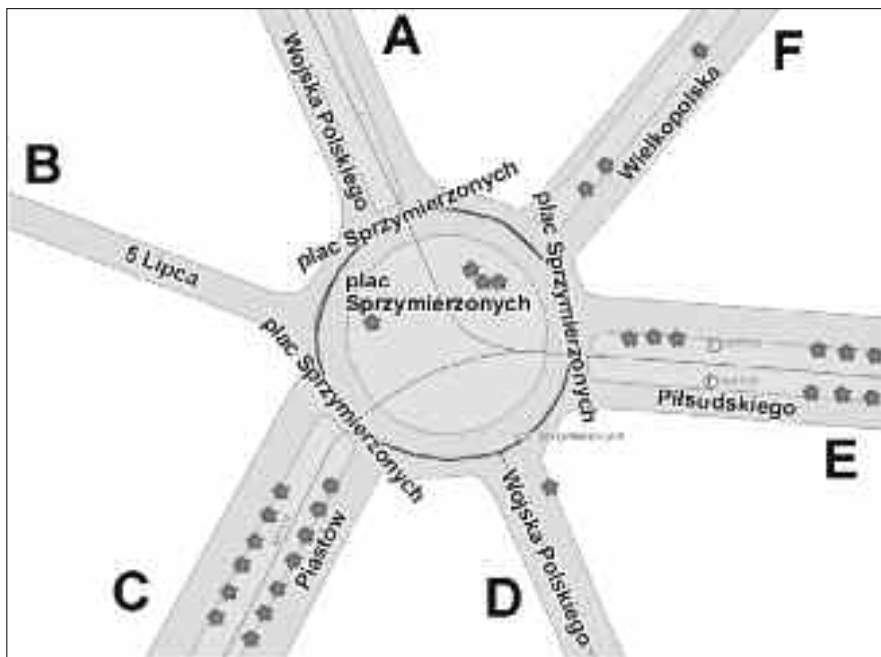
Badania eksperymentalne na bazie opracowanego systemu

Badania miały na celu stwierdzenie, czy obecne przepisy ruchu drogowego umożliwiają sprawną realizację ruchu okrężnego w stosunku do przepisów obowiązujących przed włączeniem Polski do Unii Europejskiej. Aby to osiągnąć, zebrano dane rzeczywiste na podstawie ruchu pojazdów na jednym ze szczecińskich skrzyżowań o ruchu okrężnym. Uzyskane dane zostały wykorzystane jako dane wejściowe do symulacji za pomocą opracowanego narzędzia.

Dane rzeczywiste zostały pozyskane z placu Sprzymierzonych w Szczecinie. Skrzyżowanie to składa się z wyspy o średnicy 52 m i posiada 6 odmiennie zbudowanych wlotów. Wyspa centralna otoczona jest trzema pasami o okrężnym ruchu jednokierunkowym (rys. 2).



Rys. 1. Ekran opracowanego oprogramowania do symulacji ruchu okrężnego.
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2. Oznaczenie poszczególnych wlotów. Źródło: opracowanie własne.

Dokonano analizy ruchu pojazdów na każdym z wlotów. Badania zostały wykonane dwukrotnie: badanie nr 1 zostało wykonane w piątek 5 września 2008 roku, w godzinach 14: 20 do 14: 35; badanie nr 2 zostało wykonane w poniedziałek 8 września 2008 roku, w godzinach 15: 30 do 15: 45. Zebrane dane wskazują, że najczęściej aut wjeżdża na skrzyżowanie z wlotu Al. Piastów (wlot C). Ruch głównie skierowany jest pomiędzy wlotami C (Al. Piastów), A (północny odcinek ul. Wojska Polskiego) oraz E (ul. Piłsudskiego).

Dodatkowo dla każdego z wlotów zbadana została liczba pojazdów, które wjeżdżały na skrzyżowanie bezpośrednio na skrajnie prawy pas oraz, które mimo zajęcia prawego pasa, nie skorzystały z pierwszego możliwego wjazdu. W konsekwencji prowadziło to do zablokowania uczestników ruchu chcących wjechać na skrzyżowanie z innych wlotów.

W tabelach przedstawiono opisane powyżej informacje, posługując się schematem przedstawionym na rysunku 3, gdzie PP – określa liczbę pojazdów wjeżdżających na prawy pas skrzyżowania;

Tab. 1. Łączna liczba samochodów ze wszystkich wlotów.

Nr badania	Suma	PP	PP _{wyj>1}	PP _{wyj=1}
1	1173	500 (42,6%)	114 (23,8%)	380 (72,2%)
2	1250	537 (43,0%)	113 (21,6%)	424 (79,0%)
Średnia	1211,5	518,5 (42,8%)	113,5 (21,9%)	405 (78,1%)

Źródło: opracowanie własne

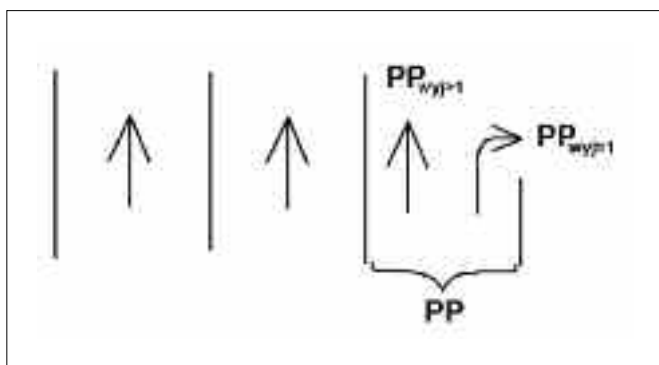
PP_{wyj=1} – określa liczbę pojazdów, które wjechały na skrzyżowanie bezpośrednio na prawy pas i opuściły je pierwszym możliwym wylotem. W nawiasie umieszczono udział procentowy tych pojazdów w stosunku do wszystkich wjeżdżających na prawy pas z danego wlotu (PP); PP_{wyj>1} – określa liczbę po-

jazdów, które wjechały na skrzyżowanie bezpośrednio na prawy pas i kontynuowały nim jazdę blokując możliwość wjazdu na skrzyżowanie kierowcom włączającym się do ruchu na skrzyżowaniu z innych wlotów. W nawiasie umieszczono udział procentowy tych pojazdów w stosunku do wszystkich wjeżdżających na prawy pas z danego wlotu (PP).

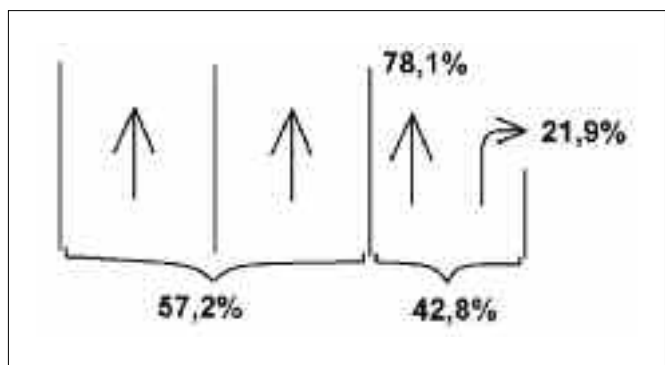
Wpływ na płynność ruchu na opisywanym skrzyżowaniu mają także przejeżdżające autobusy oraz samochody ciężarowe. Ich wymiary uniemożliwiają im jazdę w taki sam sposób, jak innym uczestnikom ruchu. W wyniku czego dochodzi do sytuacji, w których blokują one wjazd. W tabeli 1 przedstawiono podsumowanie opisywanego przypadku ruchu. Dane dotyczą łącznej liczby pojazdów ze wszystkich wlotów.

Z uzyskanych danych wynika, że aż 42,8% kierowców wjeżdżając na rondo zajmuje jego prawy pas. Tylko 21,9% z nich zjeżdża z ronda pierwszym możliwym wylotem. Zasady poruszania się po skrzyżowaniu o ruchu okrężnym, które przekazywane są kursantom, w rzeczywistości stosowane są przez około 1/5

uczestników ruchu zajmujących prawy pas po wjeździe na rondo. Pozostałe 78,1% kontynuuje jazdę prawym pasem tym samym blokując wjazd na skrzyżowanie z innych wlotów. Dzieje się tak, ponieważ jazda prawym pasem ułatwia opuszczenie skrzyżowania. Nie jest wówczas konieczna zmiana pasów na rondzie.



Rys. 3. Sposób poruszania się pojazdów na poszczególnych pasach opisywanego skrzyżowania.



Rys. 4. Obciążenie poszczególnych pasów drogi opisywanego skrzyżowania.

Obecne prawo nie określa dokładnie zasad poruszania się w ruchu okrężnym, stąd tak wielu kierowców wybiera właśnie takie rozwiązanie w celu przyjechania przez ten rodzaj skrzyżowania. Przeprowadzenie symulacji za pomocą opracowanego oprogramowania wykaże wpływ tej metody na przepustowość ruchu na rondzie.

W celu odzwierciedlenia ruchu na skrzyżowaniu, ustalono też częstotliwość generowania kolejnego pojazdu. Na podstawie czasu trwania każdego z badań (15 minut) oraz liczby samochodów, jakie wjechały na rondo w tym czasie, określono interwał czasowy generowania pojazdu. Średnie wartości zostały zaokrąglone do całości (tabela 2).

Do przeprowadzenia symulacji użyto uśrednionych wartości z obu wykonanych badań. Na podstawie danych rzeczywistych porównane zostaną dwie metody przejazdu przez rondo:

- metoda I (zgodna z danymi rzeczywistymi): określająca, że 43% kierowców zajmuje prawy pas skrzyżowania bez względu na docelowy wylot, którym ma zamiar je opuścić
- metoda II: polegająca na tym, że prawy pas jest wykorzystywany tylko i wyłącznie przez pojazdy, które zamierzają opuścić skrzyżowanie pierwszym najbliższym wylotem. W ten sposób pas ten zapewnia swobodny bezkolizyjny przejazd. Dodatkowo umożliwia pojazdom znajdującym się na środkowym pasie bezpośredni zjazd na pas wylotowy.

Dla uzyskania dokładniejszych wyników przeprowadzono wiele symulacji dla poszczególnych danych wejściowych. Pierwsza symulacja została wykonana przy zastosowaniu uśrednionych danych rzeczywistych. Uwzględniony został udział każdego z wlotów w ruchu na opisywanym skrzyżowaniu. Dla każdego z wlotów został określony wagowy udział docelowych wlotów. Liczba wygenerowanych pojazdów oraz czas ich generowania zostały ustalone na podstawie średniej arytmetycznej wartości uzyskanych z poszczególnych badań. Symulacja uwzględnia zasady wyznaczone przez metodę I (tabela 3).

Kolejna symulacja została przeprowadzona uwzględniając opcję „Prawy pas ronda dla zjeżdżających w najbliższy wylot” (metoda II). Pozostałe parametry nie zostały zmienione. Wyniki przedstawiono w tabeli 4.

Tab. 2. Interwał czasowy generowania pojazdów na rondzie dla poszczególnych badań.

Nr badania	Czas trwania badania [s]	Liczba pojazdów	Interwał czasowy generowania pojazdów [ms]
1	900 s	1 173	767 ms
2	900 s	1 250	720 ms
Średnia	900 s	1 212	744 ms

Źródło: opracowanie własne

Tab. 3. Wyniki symulacji dla danych rzeczywistych przy zastosowaniu metody I.

Nr symulacji	Liczba pojazdów	Czas generowania pojazdów [ms]	Czas opuszczenia ronda [s]
1	1 212	744 ms	921,971
2	1 212	744 ms	922,530
3	1 212	744 ms	921,748
Średnia	1 212	744 ms	923,086

Źródło: opracowanie własne

Tab. 4. Wyniki symulacji dla danych rzeczywistych przy zastosowaniu metody II.

Nr symulacji	Liczba pojazdów	Czas generowania pojazdów [ms]	Czas opuszczenia ronda [s]
1	1 212	744 ms	925,492
2	1 212	744 ms	923,910
3	1 212	744 ms	925,502
Średnia	1 212	744 ms	924,968

Źródło: opracowanie własne

Tab. 5. Czas przejazdu pomiędzy danymi wlotami przy zastosowaniu metody I.

Nr symulacji	A > B [ms]	B > C [ms]	C > D [ms]	D > E [ms]	E > F [ms]	F > A [ms]	Średnia
1	15,444	21,023	16,080	16,983	15,697	15,282	17,368
2	15,894	20,102	17,203	16,529	21,812	17,416	
3	15,554	17,623	16,463	16,629	15,392	16,799	
Średnia	15,634	19,724	16,584	16,717	17,723	17,065	

Źródło: opracowanie własne

Tab. 6. Czas przejazdu pomiędzy danymi wlotami przy zastosowaniu metody II.

Nr symulacji	A > B [ms]	B > C [ms]	C > D [ms]	D > E [ms]	E > F [ms]	F > A [ms]	Średnia
1	15,130	14,959	14,845	14,838	15,319	15,177	15,029
2	15,334	14,988	14,854	14,848	14,357	15,189	
3	15,195	14,952	14,845	14,845	15,228	15,170	
Średnia	15,236	14,966	14,848	14,850	15,105	15,172	

Źródło: opracowanie własne

Tab. 7. Czas przejazdu pomiędzy danymi wlotami przy zastosowaniu metody I.

Nr symulacji	A > B [ms]	B > C [ms]	C > D [ms]	D > E [ms]	E > F [ms]	F > A [ms]	Średnia
1	24,682	47,478	32,732	44,200	53,732	45,542	39,119
2	26,441	58,712	41,183	46,579	51,489	51,900	
3	26,374	48,269	41,576	33,773	48,363	31,530	
Średnia	29,032	58,786	38,366	39,210	51,862	37,660	

Źródło: opracowanie własne

Tab. 8. Czas przejazdu pomiędzy danymi wlotami przy zastosowaniu metody II.

Nr symulacji	A > B [ms]	B > C [ms]	C > D [ms]	D > E [ms]	E > F [ms]	F > A [ms]	Średnia
1	15,272	15,051	15,026	14,945	16,649	15,223	15,418
2	15,916	15,020	14,860	14,923	16,403	15,253	
3	15,335	15,102	15,003	14,974	16,680	15,246	
Średnia	15,694	15,038	14,946	14,967	16,576	15,240	

Źródło: opracowanie własne

Uzyskane wyniki są bardzo zbliżone do wyników poprzedniej symulacji. Ich analiza nie umożliwia jednoznacznego określenia, która z metod poruszania się po skrzyżowaniu o ruchu okrężnym jest skuteczniejsza. Podczas przeprowadzania obu symulacji zaobserwowano, że przy zastosowanych parametrach praktycznie nie tworzą się zatory drogowe.

W celu określenia różnic w obciążeniu prawego pasa oraz dróg wlotowych wykonane zostały dodatkowe badania. Analizowano średnie czasy przejazdu pojazdów z poszczególnych wlotów do najbliższego wylotu. Badaniu podlegały następujące czynniki: **A -> B [ms]** – średni czas przejazdu z wlotu A do wylotu B; **B -> C [ms]** – średni czas przejazdu z wlotu B do wylotu C; **C -> D [ms]** – średni czas przejazdu z wlotu C do wylotu D; **D -> E [ms]** – średni czas przejazdu z wlotu D do wylotu E; **E -> F [ms]** – średni czas przejazdu z wlotu E do wylotu F; **F -> A [ms]** – średni czas przejazdu z wlotu F do wylotu A. Wyniki badań przedstawiono w tabelach: 5 (metoda I) i 6 (metoda II). Dane uwzględniają dwukrotnie mniejszy czas generowania pojazdów (372 ms).

Metoda II zapewnia mniejsze obciążenie na prawym pasie ronda oraz prawych pasach poszczególnych wlotów. Dane rzeczywiste, zebrane na podstawie ruchu na placu Sprzymierzonych określają, że niewielka część kierowców zjeżdża na tym rondzie najbliższym wylotem. Zbadano skuteczność powyższych metod zakładając, że największy ruch odbywa się bezpośrednio do najbliższego wylotu. Zasymulowano także zatory drogowe stosując czas generowania pojazdów równy 100 ms celem uzyskania dokładniejszych wyników. Skuteczność poszczególnych metod została przedstawiona w tabelach: 7 (metoda I) oraz 8 (metoda II).

Przeprowadzone badania wykazują, że metoda II poruszania się po skrzyżowaniu o ruchu okrężnym jest skuteczniejsza na rondach o dużym natężeniu ruchu, gdzie większość pojazdów korzysta z najbliższego wylotu.

Wnioski

Brak jednolitych regulacji prawnych dotyczących okrężnego ruchu drogowego jest powodem występowania odmiennych zachowań u kierowców, co w konsekwencji prowadzi do powstawania zatorów drogowych oraz wypadków. Główną przyczyną powstawania zato-

rów drogowych jest rosnące natężenie ruchu drogowego, wynikające z coraz większej liczby posiadaczy samochodów. Natężenie jest tak duże, że – bez względu na zastosowaną metodę poruszania się po skrzyżowaniu o ruchu okrężnym – występowanie zatorów jest nieuniknione. Rozwiązaniem tego problemu może być zastosowanie rond turbinowych. W Polsce należą one do rzadkości. Jednak ich właściwości pozwalają przypuszczać, że korzyść z ich zastosowania może być adekwatna do poniesionych kosztów budowy. Nie zmienia to jednak faktu, że ustawa „Prawo o ruchu drogowym” wymaga nowelizacji w celu określenia jasnych reguł poruszania się po rondach.

Przy projektowaniu i budowie skrzyżowań o ruchu okrężnym w urbanizacji, realizując własne pomysły, nie zawsze robią to zgodnie z istniejącymi wyznacznikami. Ponadto, brak jest narzędzi do symulacji ruchu na rondach, przy pomocy których możliwe byłoby określenie, jaki typ ronda dla danego fragmentu infrastruktury drogowej byłby najlepszym rozwiązaniem.

Artykuł przedstawia zagadnienia dotyczące ruchu okrężnego. Opracowane narzędzie symulacji może stać się podstawą do rozwoju tego typu oprogramowania. Aplikacja umożliwia wykonanie dowolnych symulacji dotyczących okrężnego ruchu drogowego. Wykorzystana może zostać do analizy ruchu na istniejących rondach oraz do projektowania nowych. Dzięki temu możliwe będzie rozwiązanie wielu problemów mających związek z przepustowością skrzyżowań. Użyteczność oprogramowania została wykazana przez przeprowadzenie badań eksperymentalnych.

Podziękowania

Autorzy składają podziękowania panu Michałowi Chmielewskiemu za wykonanie wykorzystanego w niniejszym artykule narzędzia symulacji ruchu okrężnego.

Streszczenie

W artykule przedstawiono ważną tematykę dotyczącą logistyki miejskiej – zasadność projektowania (w kontekście przepustowości) skrzyżowań o ruchu okrężnym. Do celów badawczych wykorzystano opracowane narzędzie symulacji. Wykonano wiele badań, których wyniki uświadamiają ważność i aktualność problemu. Intensywny rozwój motoryzacji i wzrastające natężenie ruchu drogowego zmusza do

ulepszania istniejących oraz szukania nowych rozwiązań dotyczących poprawy organizacji i bezpieczeństwa ruchu drogowego. Cenionym rozwiązaniem, poprawiającym w znacznym stopniu przepustowość i bezpieczeństwo ruchu, jest skrzyżowanie o ruchu okrężnym. Tego typu skrzyżowania są skutecznym sposobem na rozładowanie zatorów drogowych. Swoją konstrukcją ograniczają prędkość jazdy oraz zapewniają kierującą lepszą widoczność. Według danych statystycznych, na skrzyżowaniach o ruchu okrężnym występuje 5 razy mniej wypadków, niż na innych skrzyżowaniach, a liczba ofiar śmiertelnych zmniejsza się o ponad 95%.

The capacity of traffic circle crossings as the element of the city logistics

Summary

In the article the important subject matter of city logistics is represented the legitimacy of the designing (in the context of the capacity) crossings about the circuitous traffic. Own developed simulation tool is used in research. Many researches were executed; whose results inform the importance and the topicality of this problem. Intensive development of motorization and the increasing traffic density forces to improving existing and seeks of new solutions concerning the improvement of the organization and the road safety. An esteemed solution improving greatly the capacity and the security of the traffic is the crossing about the traffic a circuitous. These types of the crossing are an efficient manner discharging of traffic congestions. The construction limits the travelling speed and assures directive the better visibility. According to given statistics on traffic circle crossings appear 5 times less accidents than on other crossings and the death toll grows less about 95%.

LITERATURA

1. Gordon G.: *Symulacja systemów*, WNT, Warszawa 1974.
2. *Nowości zagranicznej techniki drogowej*. Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 1991.
3. Papuga Z.: *ABC Podręcznik kierowcy*, Agencja Wydawnicza LIWONA, Warszawa 2005.
4. *Prawo o ruchu drogowym*, Ustawa z dnia 20 czerwca 1997, www.kodeksdrogowy.pl, 2008.
5. *Wypadki Drogowe w Polsce w 2007 roku*, Komenda Główna Policji, Warszawa 2008.