



TOMASZ SZCZURASZEK¹⁾
ELŻBIETA MACIOSZEK²⁾

ANALIZA ROZKŁADÓW ODSTĘPÓW CZASU POMIĘDZY POJAZDAMI NA OBWIEDNI MAŁYCH ROND

STRESZCZENIE. Na dokładność obliczeń warunków ruchu i przepustowości małych rond zasadniczy wpływ ma przyjęty model rozkładu odstępów czasu pomiędzy pojazdami na obwiedni ronda. W stosowanej w Polsce metodzie obliczania przepustowości rond do opisu tego rozkładu wykorzystywany jest model wykładniczy. Jak wykazują liczne badania, rozkład rzeczywistych odstępów czasu na obwiedni ronda odbiega od modelu wykładniczego. Przy średnich i większych natężeniach ruchu jego zastosowanie prowadzi do dużych błędów obliczeń.

Podstawowym celem pracy była ocena przydatności teoretycznych modeli zmiennej losowej do opisu odstępów czasu pomiędzy pojazdami na obwiedni ronda. Wykazano, że najlepszym do tego opisu jest rozkład wykładniczy przesunięty i powinien być preferowany do analiz warunków ruchu i przepustowości małych rond w Polsce. Ponadto wyznaczono zależności minimalnego odstępów czasu pomiędzy pojazdami od natężenia ruchu oraz wartości współczynników przeliczeniowych dla pojazdów ciężarowych na obwiedni ronda.

1. WPROWADZENIE

Małe ronda charakteryzują się wieloma zaletami, w tym wysokim poziomem bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz dużą wydajnością i płynnością ruchu. Zalety te sprawiają, że skrzyżowania te są bardzo popularne w świecie i w ostatnich latach również

¹⁾ prof. dr hab. inż. – Katedra Budownictwa Drogowego, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

²⁾ dr inż. – Katedra Inżynierii Ruchu, Wydział Transportu Politechniki Śląskiej

i w Polsce. Należy jednak mieć świadomość, że skrzyżowania te nie stanowią właściwego rozwiązania dla każdego warunków ruchu. W przypadku przeciążenia ich ruchem wzrastają straty czasu oraz wzrasta wyraźnie stopień zagrożenia dla uczestników ruchu. Podstawowym warunkiem poprawnie zaprojektowanego skrzyżowania jest zapewnienie odpowiedniego poziomu obsługi jego użytkowników. Aby jednak projektant mógł taką ocenę przeprowadzić, musi mieć do dyspozycji metodę umożliwiającą w miarę dokładne oszacowanie warunków ruchu na danym skrzyżowaniu, w tym także oszacowanie przepustowości.

Pierwszą w Polsce „Instrukcję projektowania małych rond”, dotyczącą projektowania i obliczania przepustowości skrzyżowań typu rondo, opracowano na zlecenie GDDP w 1996 roku. Instrukcja ta opracowana została głównie na podstawie doświadczeń krajów Europy Zachodniej – szczególnie niemieckich, szwajcarskich, francuskich, duńskich, holenderskich, gdzie skrzyżowania typu małe rondo istniały już od dawna. Zawiera ona warunki projektowania małych rond na obszarach zabudowanych i poza obszarami zabudowanymi. W 2001 roku na podstawie już obserwacji i badań ruchu na małych rondach w Polsce znowelizowano tę Instrukcję. W tym okresie w Polsce było już kilkaset rond. Małe rondo występowały już wtedy w Rybniku, Zielonce, w województwach: gdańskim, poznańskim, warszawskim i katowickim. W zasadach projektowania małych rond dokonano wielu zmian, biorąc pod uwagę doświadczenia z pięcioletniego okresu ich eksploatacji. Poszerzono zapisy dotyczące warunków projektowania rond dwupasowych, nie zmieniono jednak samej procedury obliczania przepustowości.

W 2004 roku wydana została nowa wersja zaleceń [1], w której została zmieniona zasada obliczania przepustowości rond (w stosunku do poprzedniej wersji) oraz wprowadzono wzory na długości kolejek pojazdów oczekujących na wlotach, wzory na straty czasu pojazdów, podano zasadę obliczania przepustowości rond z dodatkowymi pasami skrętu w prawo itd. Wprowadzono nowe podstawowe modele ruchu. Metoda bazuje na modelu akceptacji luk, zakładając wykładniczy rozkład odstępów czasu pomiędzy pojazdami na jezdni ronda i krokową funkcję akceptacji. Jak jednak udowodniono w pracy [2], wyznaczone przepustowości małych rond na podstawie metody MOPR 2004 są mało dokładne – ich wartości są wyraźnie zawyżone w stosunku do rzeczywistych wartości przepustowości. Znaczący wpływ na małą dokładność obliczeń, oprócz funkcji akceptacji luk w potoku nadrzędnym, ma przyjęty model odstępów czasu między pojazdami na obwodni ronda. Zawyżone wartości przepustowości w tej metodzie wynikają także z nieuwzględnienia w niej wielu czynników ograniczających przepustowość wlotu podporządkowanego.

Jak wykazuje wiele wyników badań [3], w rzeczywistych warunkach ruchu miejskiego, rozkład odstępów czasu pomiędzy pojazdami jest zadowalająco zbliżony do rozkładu wykładniczego jedynie przy niewielkich natężeniach ruchu. Ponadto, rozkład wykładniczy ma dwie główne wady, które ograniczają jego stosowanie: pozwala na nierealnie krótkie odstępy pomiędzy pojazdami oraz nie uwzględnia zgłoszeń grup pojazdów na wlotach. Przy większych natężeniach ruchu przyjęcie do opisu ruchu pojazdów po obwodni ronda modelu wykładniczego, tak jak to jest

w polskiej metodzie, prowadzi do dużych błędów. Przy większych natężeniach ruchu odstępy między pojazdami uzyskują bowiem złożony charakter, ponieważ część pojazdów porusza się w ruchu swobodnym, natomiast część w ruchu nieswobodnym [2]. Z tego też powodu w modelowaniu ruchu zaczęto wykorzystywać złożone rozkłady prawdopodobieństwa, takie jak np. semi-Poisson'owski, hyper-Erlanga, podwójny przesunięty rozkład wykładniczy zbudowany przez Griffithsa [4] i wiele innych, które mogą dostarczyć więcej informacji o potoku ruchu niż dotychczas stosowane rozkłady proste. Jednak stosowanie złożonych rozkładów wieloparametrycznych w wielu przypadkach ograniczone jest trudnością w doborze parametrów rozkładu. W ostatnich latach rozkład Covana stał się na świecie powszechnie stosowany przez inżynierów ruchu w obliczeniach przepustowości i analizach funkcjonowania, zarówno skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej, jak i rond. Jak dotąd rozkład ten w analizach odstępow czasu spotykany jest wyłącznie w opracowaniach zagranicznych [5 - 12].

Bardzo duży wpływ na warunki ruchu mają: charakterystyka parku samochodowego oraz charakterystyka zachowań komunikacyjnych uczestników ruchu. Obie te charakterystyki są ściśle związane z danym krajem. Stąd pewne modele ruchu mogą okazać się w danym kraju poprawne do opisu procesu ruchu, a w innych krajach - nie.

W niniejszej pracy autorzy podjęli się próby określenia typów modelowych rozkładów odstępow czasu pomiędzy pojazdami na obwodni jednopasowego ronda, które przy danej klasie natężeń ruchu dają w warunkach polskich największą zbieżność z rzeczywistymi odstępami.

Artykuł jest w dużym stopniu rozszerzoną i uzupełnioną wersją pracy [13]. Analiza rozkładów odstępow czasu pomiędzy pojazdami na obwodni małych rond została rozszerzona między innymi o:

- a) analizy minimalnego odstępu czasu między pojazdami, w tym określenie zależności odstępu od natężenia ruchu na obwodni małego ronda,
- b) analizy współczynnika przeliczeniowego dla pojazdów ciężarowych, dzięki czemu można było potoki opisywać tylko jednym parametrem, tj. natężeniem ruchu (w przeciwnym przypadku należało rozważać dwa parametry w celu zapewnienia pożądanej dokładności analiz: natężenie ruchu oraz procentowy udział pojazdów ciężarowych); należy bowiem pamiętać, że operowanie w analizach potokiem rzeczywistym (jednorodnym) z jednoczesnym pominięciem struktury rodzajowej ruchu (tak to jest aktualnie w polskiej metodzie obliczania przepustowości) zawsze będzie prowadzić do dużych błędów; w realnych warunkach mamy do czynienia zawsze ze splotami różnych potoków o różnej charakterystyce gabarytowej i dynamicznej pojazdów; zastosowanie współczynników przeliczeniowych dla pojazdów ciężarowych jest pewnym kompromisem, nie dającym co prawda możliwości dokładnego rozwiązania wskazanego problemu, ale dającym szanse dokładniejszego odwzorowania procesu ruchu w stosunku do analiz traktujących potok jako jednorodny (metoda ta jest zresztą stosowana przez wielu autorów do analiz odstępow czasu na podporządkowanych wlotach skrzyżowań).

W artykule przedstawiono także oryginalną metodę oceny przydatności poszczególnych teoretycznych rozkładów zmiennej losowej do opisu rzeczywistych odstępów czasu pomiędzy pojazdami. Polega ona na analizie przebiegu funkcji ilorazu wartości statystyk obliczeniowej i krytycznej w zależności od natężenia ruchu na obwodni ronda, wyrażonego w pojazdach umownych na godzinę. Zastosowanie tej metody umożliwiło dokładniejszą ocenę wyników badań. W konsekwencji przyczyniło się do sformułowania nieco odmiennych wniosków w stosunku do pracy [12].

Badania ruchu wykonano na pięciu wybranych małych rondach: trzy i czterowłotowych, jednopasowych, położonych w obszarze miast: Tarnowskie Góry, Bytom, Tychy, Mysłowice i Świerklaniec. Średnica zewnętrzna skrzyżowań wynosiła od 25 m do 34 m. Ruch charakteryzował się natężeniem od 50 P/h do około 1200 P/h. W potoku odnotowano od 0,3% do 14% pojazdów ciężarowych. Szczegółowy opis poligonu badawczego przedstawiono w pracach [2] oraz [13].

2. OPIS TEORETYCZNYCH MODELII PRZYJĘTYCH DO ANALIZY

Do analizy statystycznej polegającej na weryfikacji hipotezy zerowej H_0 o zgodności empirycznego rozkładu odstępów czasu pomiędzy pojazdami z rozkładem hipotetycznym o znanej postaci dystrybuanty $F(t)$, wykorzystano następujące rozkłady teoretyczne:

1. Rozkład wykładniczy, którego funkcja gęstości ma postać:

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}, \quad t \geq 0, \quad (1)$$

gdzie:

λ – parametr rozkładu.

Wartość oczekiwana wynosi:

$$E(T) = \frac{1}{\lambda}. \quad (2)$$

2. Rozkład gamma. Zmienna losowa T ma rozkład gamma o parametrach a i b , jeśli jej gęstość prawdopodobieństwa jest określona wzorem:

$$f(t) = \begin{cases} \frac{b^a t^{a-1} e^{-bt}}{\Gamma(a)} & \text{dla } t \in (0, \infty), \\ 0 & \text{dla pozostałych } t, \end{cases} \quad (3)$$

gdzie:

a, b – są dodatnimi parametrami rozkładu.

3. Rozkład Erlanga, którego funkcja gęstości ma postać:

$$f(t) = a \frac{(at)^{k-1}}{(k-1)!} e^{-at}, \quad t \in (0, \infty), \quad (4)$$

gdzie:

k, a – parametry rozkładu: $k \in N, \alpha > 0$.

4. Rozkład logarytmiczno-normalny. Rozkład zmiennej losowej T , której $\ln T$ ma rozkład normalny, jest rozkładem logarytmiczno-normalnym. Funkcja gęstości rozkładu ma postać:

$$f(t) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln t - m)^2}{2\sigma^2}\right], \quad t > 0, \quad (5)$$

gdzie:

m, σ – parametry rozkładu.

5. Rozkład przesunięty wykładniczy, którego funkcja gęstości ma postać:

$$f(t) = \begin{cases} 0 & \text{jeżeli } t < t_p, \\ \theta \cdot e^{-\theta(t-t_p)} & \text{jeżeli } t \geq t_p, \end{cases} \quad t \geq t_p, \quad \theta > 0, \quad t_p > 0, \quad (6)$$

gdzie:

t_p – minimalna dopuszczalna wartośćią zmiennej losowej (minimalny odstęp pomiędzy pojazdami).

Wartość oczekiwana wynosi:

$$E(T) = \frac{1}{\theta} + t_p. \quad (7)$$

Parametr θ można określić jako natężenie przybyć (intensywność zgłoszeń):

$$\theta = \frac{1}{E(T) - t_p} = \frac{\lambda}{1 - \lambda \cdot t_p} = \frac{Q_{nwl}}{3600 - Q_{nwl} \cdot t_p}. \quad (8)$$

6. Rozkład Covana, którego dystrybuanta funkcji ma postać:

$$F(t) = \begin{cases} 0 & \text{jeżeli } t < t_p, \\ 1 - \phi \cdot e^{-\gamma(t-t_p)} & \text{jeżeli } t \geq t_p, \end{cases} \quad (9)$$

gdzie:

ϕ – udział pojazdów poruszających się swobodnie, (pojedynczo),

γ – intensywność zgłoszeń,

t_p – minimalny odstęp pomiędzy pojazdami [s].

Wartość oczekiwana:

$$E(T) = t_p + \frac{\phi}{\gamma}, \quad (10)$$

gdzie:

- t_p – minimalny odstęp pomiędzy pojazdami [s],
- ϕ – udział pojazdów poruszających się swobodnie po jezdni małego ronda przy danym wlocie [-],
- γ – intensywność zgłoszeń.

Parametr skali γ można określić jako intensywność zgłoszeń:

$$\gamma = \frac{\phi \cdot Q_{mwl}}{3600 - Q_{mwl} \cdot t_p}, \quad (11)$$

gdzie:

- ϕ – udział pojazdów poruszających się swobodnie po jezdni małego ronda przy danym wlocie [-],
- Q_{mwl} – natężenie ruchu na jezdni ronda w obszarze kolizyjnym [E/h],
- t_p – minimalny odstęp pomiędzy pojazdami [s].

Udział pojazdów poruszających się swobodnie:

$$\phi = \frac{Q_s}{Q_{mwl}}, \quad (12)$$

gdzie:

- ϕ – udział pojazdów poruszających się swobodnie po jezdni małego ronda przy danym wlocie [-],
- Q_s – liczba pojazdów poruszających się swobodnie (tj. w odstępach większych od 4 s) [E/h],
- Q_{mwl} – natężenie ruchu na jezdni ronda w obszarze kolizyjnym [E/h].

Powyżej przedstawione rozkłady są najczęściej stosowane w modelowaniu odstępów pomiędzy pojazdami.

3. MINIMALNY ODSTĘP CZASU POMIĘDZY POJAZDAMI NA JEZDNI MAŁEGO RONDA

Jednym z bardzo istotnych parametrów rozkładów, rozpatrywanych w rozdziale 2, jest minimalny odstęp czasu t_p .

Minimalny odstęp czasu pomiędzy pojazdami na jezdni ronda odgrywa ważną rolę przy obliczaniu przepustowości wlotów podporządkowanych. Jak podaje literatura [14], minimalna obserwowana wartość odstepu pomiędzy pojazdami zmienia się od 0,5 s do 2,5 s. Odstepy krótsze niż 1,0 s występują na skrzyżowaniach lub drogach wielopasowych i są obserwowane pomiędzy pojazdami poruszającymi się po różnych

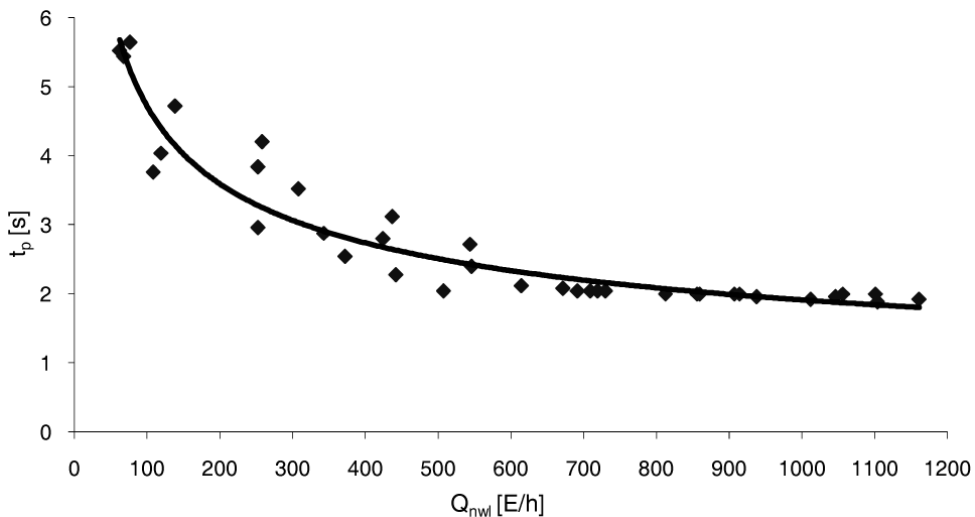
pasach ruchu. Jak podał Akcelik [5] czy Statens [15], dla rond o jednym pasie ruchu na jezdni ronda minimalny odstęp t_p waha się od 1,5 s do 2,0 s, często przyjmuje wartość 1,8 s. Z kolei niektóre opracowania, np.: [10] podają, że minimalne wartości odstępów t_p większe niż 2,0 s dla rond występują rzadko.

Rozpatrując otrzymane z badań własnych wartości można stwierdzić, że minimalny odstęp waha się od 1,88 s do 5,64 s i wyraźnie zależy od natężenia ruchu. Przy czym należy zaznaczyć, że za minimalny odstęp przyjęto w pracy kwantyl 3% z rozkładów obserwowanych odstępów czasu między pojazdami na obwodni ronda.

Dla zebranych prób wykonano analizę zależności minimalnego odstępów czasu t_p od natężenia ruchu na obwodni małego ronda Q_{nwl} . Zbadano dwie różne postacie zależności, jednak lepszym dopasowaniem do danych empirycznych cechowała się funkcja potęgowa. Przyjęła ona następującą postać:

$$t_p = 28,55 \cdot Q_{nwl}^{-0,39} \text{ [s]} \quad \text{dla } Q_{nwl} \geq 50 \text{ P/h} . \quad (13)$$

Graficzną postać powyższej funkcji oraz uzyskane wartości empiryczne przedstawiono na rysunku 1. Stabilizacja wartości minimalnego odstępów dla większych natężeń ruchu wynika ze znacznego wzrostu prawdopodobieństwa zaistnienia zderzenia tylnego pojazdów. W przypadkach bardzo dużych natężeń ruchu pojazdy poruszają się w kolumnach jeden pojazd za drugim, a odstępów pomiędzy pojazdami mają stałe lub zbliżone do siebie wartości.



Rys. 1. Zależność minimalnego odstępów czasu pomiędzy pojazdami od natężenia ruchu na jezdni małego ronda

Fig. 1. Dependence of the minimal time interval between the vehicles as a function of the traffic volume of a small roundabout roadway

Na podstawie przeprowadzonej analizy dokładności szacowania (tabl. 1) stwierdzono, że przyjęta zależność potęgowa dla wartości zlogarytmowanych jest dobrze dopasowana (stosunkowo mała wartość współczynnika zmienności resztowej – 11% oraz niska współczynnika zbieżności – 8%). Na tej podstawie można przyjąć, że możliwe odchylenia rzeczywistych odstępów czasu pomiędzy pojazdami poruszającymi się po obwodni ronda od wartości odstępów wyznaczonych na podstawie funkcji potęgowej są względnie małe. Dodatkowo w wyniku analizy otrzymano bardzo wysoką wartość współczynnika determinacji (0,92) oraz współczynnika korelacji nieliniowej (0,96), co potwierdza istnienie silnej zależności pomiędzy rozpatrywanymi zmiennymi.

Tablica 1. Parametry oceny oszacowanej funkcji potęgowej
Table 1. Evaluation parameters of the estimated power function

Parametr	Wartość parametru
Odchylenie standardowe składnika resztowego Se	0,10
Współczynnik zmienności resztowej Ve	0,11
Współczynnik zbieżności φ^2	0,08
Współczynnik korelacji nieliniowej R	0,96
Współczynnik determinacji R^2	0,92

Wraz ze wzrostem natężenia ruchu na obwodni małego ronda wartość minimalnego odstepu pomiędzy pojazdami oczywiście maleje. Oprócz natężenia ruchu na wartość t_p mogą mieć wpływ inne czynniki nie uwzględnione w analizie, takie jak lokalne uwarunkowania rozwiązań geometrycznych, struktura rodzajowa ruchu, wielkość miasta, itp.

4. WYNIKI TESTÓW STATYSTYCZNYCH

Badania zgodności rozkładów modelowych z rzeczywistymi wykonano za pomocą testu χ^2 Pearsona, przyjmując poziom istotności $\alpha = 0,05$.

Analizy prowadzono niezależnie dla 12 klas natężeń ruchu o szerokości klasy 100 E/h. Przeprowadzono je również niezależnie dla dwóch stanów struktury rodzajowej, tj., bez udziału pojazdów ciężarowych oraz z ich udziałem, w tym z uwzględnieniem pojazdów umownych.

W celu określenia natężeń ruchu w pojazdach umownych na godzinę [E/h] skorzystano ze współczynnika przeliczeniowego dla pojazdów ciężarowych. Autorzy wyznaczyli go na podstawie własnych badań w sposób następujący:

$$E = \frac{\overline{dt}_{oc}}{\overline{dt}_{oo}}, \quad (14)$$

gdzie:

\overline{dt}_{oc} – średni odstęp czasu pomiędzy samochodem osobowym a ciężarowym na obwodni ronda [s],

\overline{dt}_{oo} – średni odstęp czasu pomiędzy dwoma samochodami osobowymi na obwodni ronda [s].

Na podstawie badań własnych uzyskano wartość współczynnika przeliczeniowego dla pojazdów ciężarowych na pojazdy umowne równą $E = 1,90$.

W tabelicy 2 dla poszczególnych zakresów natężeń ruchu przedstawiono wyniki badania zgodności poszczególnych, przyjętych rozkładów modelowych z empirycznymi na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Za pozytywny wynik (oznaczony w tabelicy 2 znakiem „+”) uznano ten, dla którego stwierdzono brak podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej H_0 o zgodności rozkładu empirycznego z wybranym rozkładem hipotetycznym dla wszystkich badanych skrzyżowań. Natomiast za wynik negatywny (oznaczony w tabelicy 2 znakiem „-”) uznano wynik, dla którego przynajmniej na jednym z badanych skrzyżowań stwierdzono podstawy do odrzucenia hipotezy zerowej. Stwierdzając brak podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej H_0 , nie ma powodów, by kwestionować zgodność rozkładu odstępów pomiędzy pojazdami na jezdni małego ronda z przyjętym rozkładem hipotetycznym. Test jest tak zbudowany, że im bliższa zeru jest wartość statystyki χ^2 , tym hipoteza zerowa H_0 jest bardziej wiarygodna.

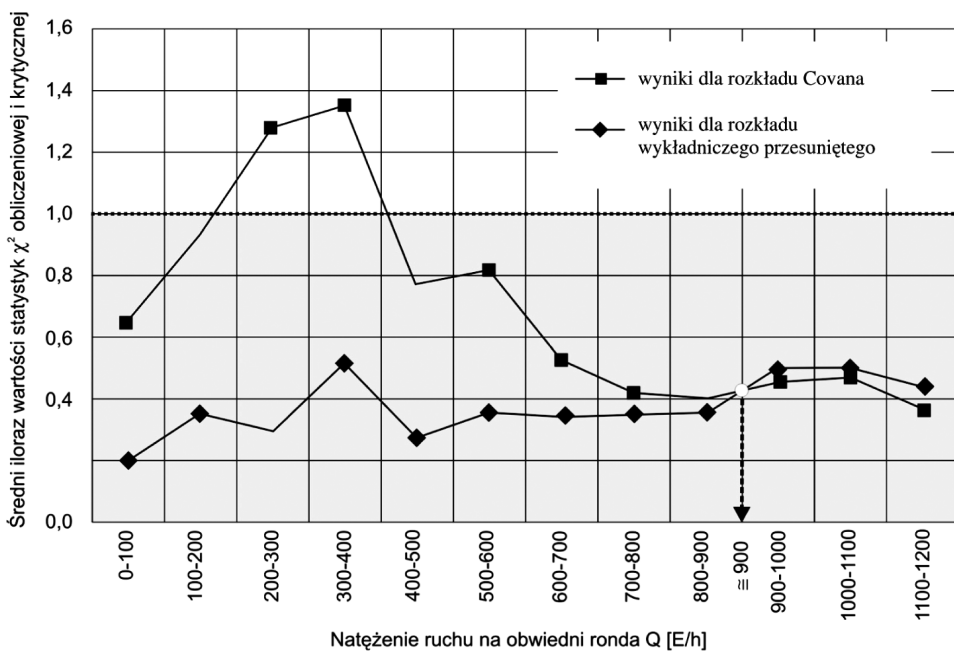
Tabela 2. Wyniki badania zgodności rozkładów empirycznych z teoretycznym na poziomie istotności $\alpha = 0,05$

Table 2. Results of the accuracy of fit for the empirical distributions and a theoretical distribution on a significance level of $\alpha = 0.05$

Zakres natężeń ruchu Q [E/h]	Typ rozkładu teoretycznego					
	W wykładniczy	G Gamma	E Berlanga	LN logarytmiczno-normalny	WP wykładniczy przesunięty	C Covana
0 - 100	+	+	+	+	+	-
100 - 200	-	-	+	-	+	-
200 - 300	-	-	-	-	+	-
300 - 400	-	-	-	-	+	-
400 - 500	-	-	-	-	+	+
500 - 600	-	-	-	-	+	+
600 - 700	-	-	-	-	+	+
700 - 800	-	-	-	-	+	+
800 - 900	-	-	-	-	+	+
900 - 1000	-	-	-	-	+	+
1000 - 1100	-	-	-	-	+	+
1100 - 1200	-	-	-	-	+	+

Oznaczenia:
 + brak podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej H_0 o zgodności rozkładu empirycznego z rozkładem teoretycznym dla wszystkich badanych skrzyżowań
 - istnieją podstawy do odrzucenia hipotezy zerowej H_0 przynajmniej dla jednego badanego skrzyżowania

Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że dla małych natężeń ruchu (0 E/h ÷ 200 E/h) w większości rozpatrywanych przypadków wszystkie badane rozkłady teoretyczne spełniały wymogi statystyki z wymaganą dokładnością. Stwierdzono również, że w wielu przypadkach rozkładami takimi jak: przesunięty wykładniczy, logarytmiczno-normalny, Erlanga, można też opisać ruch o średnim natężeniu ruchu pojazdów przejeżdżających przez dany przekrój drogi (200 E/h ÷ 400 E/h). Jest to zgodne z wynikami badań podanymi przez np. Tracza [16], Węsierskiego [17], Wolszczana [18] oraz Janeckiego i Pawlickiego [19] oraz w pracy [13]. Potwierdzają to również opracowania zagraniczne [20]. Od natężenia ruchu około 400 E/h ruch pojazdów nie jest jednak w dużym stopniu swobodny, a wymienione rozkłady (z wyjątkiem Covana i przesuniętego wykładniczego) nie spełniają wymogu testu χ^2 . Jak podaje literatura zagraniczna [5] i [10], w sytuacjach dużych natężeń ruchu do opisu rozkładów odstępów czasu pomiędzy pojazdami występujących na jezdniach głównych wykorzystuje się najczęściej rozkład wykładniczy przesunięty lub rozkłady złożone, jak np.: rozkład Hyperlanga, który stanowi sumę ważoną przesuniętego rozkładu wykładniczego i rozkładu Erlanga lub też rozkład Covana.



Rys. 2. Względne wartości statystyk χ^2 dla dwóch teoretycznych rozkładów odstępów czasu pomiędzy pojazdami na obwodni ronda: Covana i wykładniczego przesuniętego

Fig. 2. Relative values of χ^2 statistic for two theoretical distributions of the time intervals between the vehicles on the roundabout envelope as well as the Covan distribution and displaced exponential distribution

Zbiornicze wyniki testów statystycznych przedstawione w tabelicy 2 dowodzą, że najbardziej przydatnym rozkładem teoretycznym do opisu odstępów czasu pomiędzy pojazdami na obwodni ronda jest rozkład wykładniczy przesunięty. Daje on bowiem poprawne wyniki w całym zakresie natężeń ruchu i dla wszystkich rond. Pozytywne wyniki testów w przypadku wszystkich skrzyżowań oraz natężeń większych od 400 E/h uzyskano także dla rozkładu Covana. Na rysunku 2 przedstawiono porównanie dla tych dwóch rozkładów dokładności opisu empirycznych rozkładów odstępów czasu. Do oceny dokładności przyjęto iloraz średnich wartości χ^2 obliczonej z badań oraz krytycznej. Im wartość tego ilorazu jest bliższa zeru, tym dokładność tego opisu jest większa. Wartość powyżej 1,0 świadczy z kolei o negatywnym wyniku zgodności rozkładu empirycznego z modelowym.

Wyniki analiz zawarte na rysunku 2 potwierdzają bardzo dużą przydatność do opisu odstępów czasu między pojazdami rozkładu wykładniczego przesuniętego. Na podkreślenie zasługuje bardzo mała wartość ilorazu $\frac{\chi^2}{\chi^2_{kryt}}$ uzyskana dla tego rozkładu we wszystkich badanych zakresach natężeń, świadcząca o dużej dokładności opisu rzeczywistych odstępów (dla większości przypadków wynosiła ona poniżej 0,5). Podobne wyniki pod względem dokładności opisu analizowanego rozkładu uzyskuje się tylko dla natężeń ruchu powyżej 900 E/h w przypadku zastosowania rozkładu Covana.

6. WNIOSKI

1. Na podstawie przeprowadzonych badań ustalono, że minimalny odstęp pomiędzy pojazdami na obwodni ronda t_p zależy od natężenia ruchu Q_{mwl} i można go opisać wzorem (13):

$$t_p = 28,55 \cdot Q_{mwl}^{-0,39} \text{ [s]} \quad \text{dla } Q_{mwl} \geq 50 \text{ P / h .}$$
2. Na podstawie badań uzyskano wartość współczynnika przeliczeniowego dla pojazdów ciężarowych na pojazdy umowne, poruszające się po obwodni ronda, równą $E = 1,90$.
3. Analizy wykazały, że dla małych natężeń ruchu (do 100 E/h) rzeczywiste odstępów czasu pomiędzy pojazdami na rondzie można z wystarczającą dokładnością opisać za pomocą prawie wszystkich rozpatrywanych w pracy teoretycznych rozkładów (poza rozkładem Covana). Dla średnich natężeń ruchu (od 100 E/h do 400 E/h) można to uczynić za pomocą rozkładu przesuniętego wykładniczego. Natomiast dla dużych natężeń ruchu (ponad 400 E/h) pozytywne wyniki testów statystycznych dają tylko rozkłady Covana i przesunięty wykładniczy.
4. Najbardziej przydatnym rozkładem teoretycznym do opisu odstępów czasu pomiędzy pojazdami na obwodni ronda jest rozkład wykładniczy przesunięty, ponieważ daje dokładne wyniki w całym zakresie natężeń ruchu. Autorzy sugerują, aby taki rozkład był preferowany do analiz warunków ruchu i przepustowości małych rond w Polsce.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad: Metoda obliczania przepustowości rond. Instrukcja obliczania. Warszawa 2004
- [2] *Macioszek E.*: Model ruchu na małych rondach dla potrzeb obliczania przepustowości. Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej. Raport serii PRE, nr 15/2006
- [3] *Datka S., Suchorzewski W., Tracz M.*: Inżynieria ruchu. Warszawa, WKŁ 1999
- [4] *Griffiths J.D., Hunt J.G.*: Vehicle Headway in Urban Areas. Traffic Engineering and Control, X, 1991, 458 - 462
- [5] *Akcelik R., Chung E.*: Calibration of the bunched exponential distribution of arrival headways. Reprint with minor revisions. Road and Transport Research, 3, 1, 1994, 42 - 59
- [6] *Hagring O.*: Calibration of headway distributions. Department of Technology and Society-University of Lund, 1999
- [7] *Hagring O.*: The use of the Covan M3 distribution for modeling roundabouts flow. Traffic Engineering and Control, 37, 5, 1996, 328 - 332
- [8] *Luttinen T.R.*: Capacity and Level of Service at Finnish Unsignalised Intersections. Finnish Road Administration, Finnra Report 1/2004, Helsinki 2004
- [9] *Sullivan D.P., Troutbeck P.J.*: The use of Covan's M3 headway distribution for modeling urban traffic flow. Traffic Engineering and Control, 35, 7-8, 1994, 445 - 450
- [10] *Tanyel S., Yayla N.*: A discussion of the parameters of Covan M3 distribution for Turkey. Transportation Research, Part A37, 2003, 129 - 143
- [11] *Troutbeck R.J.*: A review on the process to estimate the Covan M3 Headway Distribution Parameters. Traffic Engineering and Control, 38, 11, 1997, 600 - 603
- [12] *Troutbeck R.J., Kako S.*: Limited priority merge at unsignalised intersections. Transportation Research, Part A, 1999, 291 - 304
- [13] *Macioszek E.*: Typy rozkładów odstępów czasu pomiędzy pojazdami. Autostrady, 1-2/2009
- [14] *Hagring O.*: Vehicle-vehicle interactions at roundabouts and their implications for the entry capacity: A Methodological Study with Applications to Two-lane Roundabouts. Lund Institute of Technology, Department of Traffic Planning and Engineering, Bulletin 159, Lund 1998
- [15] *Statens V.*: CAPCAL, model description. Part III: Roundabouts. Report 1995: 007E-1995:010E, Borlänge, Sweden 1995
- [16] *Tracz M.* (red.): Pomiar i badania ruchu drogowego. WKiŁ, Warszawa 1984
- [17] *Węgierski J.*: Metody probabilistyczne w projektowaniu transportu szynowego. WKiŁ, Warszawa 1971
- [18] *Wolszczan J.*: Zastosowanie teorii masowej obsługi w transporcie samochodowym. WKiŁ, Warszawa 1970

- [19] *Janecki R., Pawlicki J.*: Laboratorium statystyki systemów i procesów transportowych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997
- [20] *Bennett Ch.R.*: A Speed Prediction Model For Rural Two-Lane Highways. Department of Civil Engineering, The University of Auckland, Auckland, New Zealand 1994
- [21] *Wegmann H.*: Impedance effects in capacity estimation. ZOR, **36**, 1992, 73 - 104

ANALYSIS OF TIME INTERVALS DISTRIBUTION BETWEEN VEHICLES ON THE ROADWAY AROUND CENTRAL ISLAND OF SMALL ROUNDABOUTS

Abstract

A model of distribution of the time intervals between the vehicles on a roundabout envelope, that is applied to perform the calculations of the traffic conditions and the capacities of small roundabouts, has a significant impact on the accuracy of these calculations. In Poland such distribution is given by the exponential model and applied for calculations of capacity of the roundabouts. The distribution of the real time intervals between vehicles on the roundabout envelopes deviates from the exponential model as it has been shown in numerous publications. Using it for the average and higher volumes of the traffic flow may lead to the large inaccuracies of calculations.

The main objective of this work is to assess the usefulness of theoretical models of a random variable used to describe the time intervals between the vehicles on a roundabout envelope. It has been demonstrated that the best one for such purpose is a displaced exponential distribution and therefore it is recommended to be used for the analyses of the traffic conditions and capacities of small roundabouts in Poland. The calculated minimal time interval between the vehicles as a function of the traffic volume, and the passenger car equivalents for heavy vehicles on the roundabout envelope are also presented.