ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2001
Seria: BUDOWNICTWO z. 93 Nr kol. 1514

Grzegorz RODAK*
Politechnika Świętokrzyska

CHARAKTERYSTYKA PRĘDKOŚCI CHWILOWEJ POJAZDÓW RELACJI NA WPROST NA WLOTACH SKRZYŻOWAŃ Z WYSPĄ CENTRALNĄ

Streszczenie. W ostatnich latach na polskich drogach obserwuje się gwałtowny wzrost liczby przypadków łamania przez kierowców lokalnych ograniczeń prędkości. Według policyjnych statystyk, jest to główną przyczyną zdarzeń drogowych.

Celem niniejszej pracy jest próba ustalenia zależności pomiędzy prędkością pojazdów relacji na wprost - na wlotach skrzyżowań z wyspą centralną, a takimi parametrami sygnalizacji świetlnej, jak:

- rodzaj wyświetlanego sygnału na wlocie,
- długość sygnału zielonego.

THE DESCRIPTION OF SPEED OF STRAIGHT MOVING VEHICLES ON SIGNALIZED INTERSECTIONS WITH A CENTRAL ISLAND

Summary. In the last year rapidly growing over speeding is observed on Polish roads. According to police reports, it is the main couse of accidents.

The main aim of the work was an attempt to establish relationship between speed of vehicles and kind of light and period of green light, signalized on traffic line, for measured vehicles.

1. Wprowadzenie

Prędkość jest najważniejszym parametrem ruchu drogowego, wpływającym na liczbę i stopień ciężkości wypadków. Wzrost prędkości wydłuża drogę hamowania, skraca czas wykonania manewru, który jest wymuszany przez warunki panujące na drodze, pogarsza sczepność opony z powierzchnią jezdni, co powoduje, że skutki wypadków są znacznie poważniejsze [2]. Oprócz wartości bezwzględnej prędkości, duży wpływ na bezpieczeństwo ruchu ma rozrzut prędkości chwilowych różnych pojazdów wchodzących w skład potoku ruchu. Duży

*Opiekun naukowy: Prof. dr inż. Czesław Lewinowski.

rozrzut prędkości stwarza ryzyko, że podczas wykonywania manewru hamowania może dojść do wypadku drogowego.

Miejscami koncentracji zdarzeń drogowych na terenach zainwestowania miejskiego są skrzyżowania.

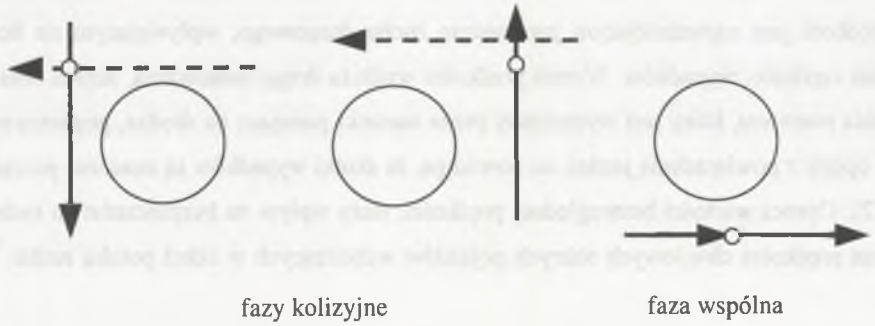
Z danych zestawionych za rok 1999 [3], wynika że spośród sześciu skrzyżowań w Kielcach, na których wystąpiła największa liczba zdarzeń drogowych, cztery to skrzyżowania z wyspą centralną, sterowane sygnalizacją świetlną. Analiza wzorców zdarzeń drogowych [4] na skrzyżowaniach z wyspą centralną wykazała, że w 85% całej liczby zdarzeń drogowych brała udział relacja na wprost. Dominującymi przyczynami zdarzeń drogowych dla kombinacji relacji W-W były:

- niedostosowanie prędkości i odległości między pojazdami do warunków ruchu (20%);
- nieprzestrzeganie pierwszeństwa przejazdu (65%).

Prędkości pojazdów na wlotach zależą od tego, w którym momencie cyklu sygnalizacyjnego pojazd dojeżdża do skrzyżowania. Zbadano, czy istnieje związek między prędkością chwilową pojazdu a przedziałem cyklu sygnalizacyjnego, w którym pojazd zbliża się do skrzyżowania.

2. Poligony badawcze

Do badań wybrano 6 skrzyżowań z wyspą centralną sterowanych sygnalizacją świetlną dwufazową. Pomiar prędkości chwilowych wykonano na 20 wlotach na pasach ruchu prowadzących relację na wprost. Charakterystykę odcinków pomiarowych zestawiono w tablicy 1. Położenie teoretycznych punktów kolizji dla kombinacji relacji W-W dla faz kolizyjnych i wspólnych ilustruje rysunek 1.



Rys. 1. Teoretyczne punkty kolizji dla kombinacji relacji W- W
Fig. 1. Conflict area and points of potential collision for go- straight movement on intersection

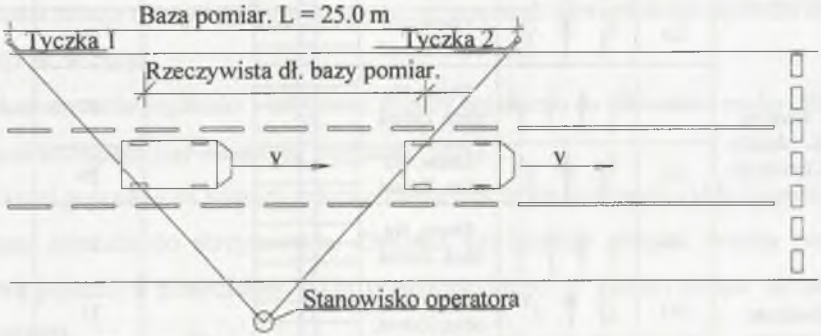
Tablica 1

Charakterystyka odcinków pomiarowych

Nr poligonu	Nazwa skrzyżowania	Nr odc. pomiar	Charakterystyka odc. pomiarowego			Charakterystyka programu sygnalizacji świetlnej		
			lokaliz. odc. pom. na wlocie	ogr. prędkości [km/h]	szerokość pasów ruchu	długość cyklu T[s]	dł. sygn. zielonego G[s]	dł. Sygn. Żółtego ż[s]
11	Bohaterów Warszawy-Tarnowska	11/2		Obow. Na obsz. Zabud.	3.5 3.5 3.5	78	18	4
		11/3		Obow. Na obsz. Zabud.	3.8 3.8 3.8		48	
		11/4		Obow. Na obsz. Zabud.	3.3 3.5 3.5		18	
12	IX Wieków Kielc- Manifestu Lipcowego	12/1		Obow. Na obsz. Zabud.	3.5 3.8 3.8	78	29	4
		12/2		Obow. Na obsz. Zabud.	3.5 3.6 3.6 3.5		37	
		12/3		Obow. Na obsz. Zabud.	3.5 3.3 3.3		29	
		12/4		Obow. Na obsz. Zabud.	3.5 4.6 4.6 5.3		37	
13	Manifestu Lipcowego – Świętokrzyska	13/1		Obow. Na obsz. Zabud.	3.8 3.8 3.8	66	31	3
		13/4		Obow. Na obsz. Zabud.	3.8 3.8 3.8		24	
14	Jesionowa – Zagnańska	14/1		Obow. Na obsz. Zabud.	3.5 3.5 3.5	60	22	3
		14/2		50	3.5 3.5 3.5		24	
		14/3		Obow. Na obsz. Zabud.	3.5 3.5 3.8		22	
		14/4		40	3.5 3.5 3.5		24	
15	Jagiellońska – Grunwaldzka	15/1		50	3.2 3.6 3.7	78	41	4
		15/2		Obow. Na obsz. Zabud.	3.5 3.3 3.2 3.3		27	
		15/3		Obow. Na obsz. Zabud.	3.4 3.5 3.2		41	
		15/4		Obow. Na obsz. Zabud.	3.8 3.8 3.6		27	
22	IX Wieków – Warszawska	22/1		Obow. Na obsz. Zabud.	3.5 3.5 3.5	78	17	4
		22/2		Obow. Na obsz. Zabud.	3.5 3.5 3.5		30	
		22/4		Obow. Na obszarze zabud.	3.5 3.0 3.5 3.5		43	

3. Wykonanie pomiaru

Pomiaru prędkości chwilowych pojazdów dokonano na przełomie października i listopada 2000 r w robocze dni tygodnia w godzinach 14^{00}- 16^{00}, metodą pośrednią, tj. przez wyznaczenie czasu, potrzebnego na przejechanie krótkiego odcinka jezdni, tzw. bazy pomiarowej. Do pomiaru wykorzystano elektroniczne rejestratory zdarzeń RP-10. Lokalizację bazy pomiarowej w odniesieniu do linii warunkowego zatrzymania zilustrowano na rysunku 2.



Rys. 2. Lokalizacja bazy pomiarowej na odcinku pomiarowym
Fig. 2. The location of the measured distance on the intersection inlet

Takie przyjęcie bazy pomiarowej zapewniało wykonanie pomiaru zarówno prędkości pojazdów przejeżdżających w czasie trwania sygnału zielonego, jak i pojazdów dojeżdżających do skrzyżowania w czasie sygnału czerwonego. W okresie całego pomiaru rejestrowano początek sygnału zielonego na sygnalizatorze, tak aby było wiadomo, w jakim momencie cyklu sygnalizacyjnego przejeżdżał pojazd, którego prędkość była mierzona.

4. Charakterystyka prędkości chwilowych

Do analiz prędkości chwilowych wybrano następujące charakterystyki prędkości: prędkość średnia, odchylenie standardowe, współczynnik zmienności, wartość minimalna, wartość maksymalna.

Wartości charakteryzujące prędkości chwilowe na poligonach badawczych zestawiono w tablicy 2.

Tablica 2

Charakterystyka prędkości chwilowych na wlotach skrzyżowań

Nr poligon	Nazwa skrzyrzowania	Numer odc. pomiar	Liczebn. próby	Prędkość min. [km/h]	Prędkość maks. [km/h]	Prędkość średnia [km/h]	Odchylenie standard. [km/h]	Współczyn. zmienności
11	Boh. Warszawy-Tarnowska	11/2	149	19.4	72.6	36.8	11.5	31.4
		11/3	178	17.8	104.4	59.9	17.5	28.9
		11/4	169	6.3	71.4	24.8	10.0	40.3
12	IX Wieków Kielc-Manifestu Lipcowego	12/1	243	8.5	70.0	34.2	13.1	38.5
		12/2	77	23.0	107.3	48.9	15.5	31.7
		12/3	233	12.8	131.0	37.4	13.8	37.0
		12/4	248	11.3	122.0	39.3	15.7	39.9
13	Manifestu Lipc. – Świętokrzyska	13/1	269	2.2	99.4	39.9	21.3	53.6
		13/4	75	12.1	60.6	25.9	9.0	34.6
14	Jesionowa – Zagnańska	14/1	161	4.3	68.7	27.0	14.0	52.0
		14/2	232	2.6	70.3	29.2	13.5	46.5
		14/3	195	8.1	94.9	28.0	12.5	44.5
		14/4	231	3.2	68.0	30.9	15.4	49.8
15	Jagiellońska – Grunwaldzka	15/1	180	5.7	88.0	45.3	20.4	45.0
		15/2	137	5.9	100.1	40.9	14.4	35.3
		15/3	166	15.1	112.6	44.9	18.7	41.7
		15/4	202	24.8	96.0	51.1	13.2	25.9
22	IX Wieków – Warszawska	22/1	172	1.0	68.7	25.7	13.3	52.1
		22/2	263	7.5	101.8	47.5	19.6	41.3
		22/4	335	7.6	81.7	45.9	14.0	30.5

Uzyskane wartości charakteryzujące prędkości chwilowe na poligonach badawczych, zestawione w tablicy 2, pozwalają wnioskować, że:

- na wszystkich odcinkach pomiarowych zaobserwowany rozstęp między zarejestrowanymi prędkościami minimalnymi i maksymalnymi, zmieniał się w granicach od 48.5 km/h do 118.2 km/h;
- prędkości średnie na wlotach skrzyżowań mieszczą się w granicach od 24,7 km/h do 59,9 km/h;
- na wszystkich wlotach zarejestrowana prędkość maksymalna przekracza obowiązujące ograniczenia prędkości, w tym na siedmiu przekracza 100 km/h;
- istnieje związek pomiędzy prędkością chwilową pojazdów i rodzajem wyświetlanego sygnału, stąd bardzo małe wartości prędkości zarejestrowane w okresie sygnału czerwonego i zdecydowanie większe w okresie sygnału zielonego.

W celu ustalenia związków między prędkością pojazdów i rodzajem wyświetlanego sygnału, dokonano analizy charakterystyk prędkości chwilowych dla pierwszej i drugiej połowy sygnału zielonego oraz dla sygnału czerwonego. Liczebność prób uzyskanych na każdym wlocie pozwala na statystyczne opracowanie wyników z uwzględnieniem momentu pojawienia się pojazdu w cyklu sygnalizacyjnym.

5. Analiza wyników

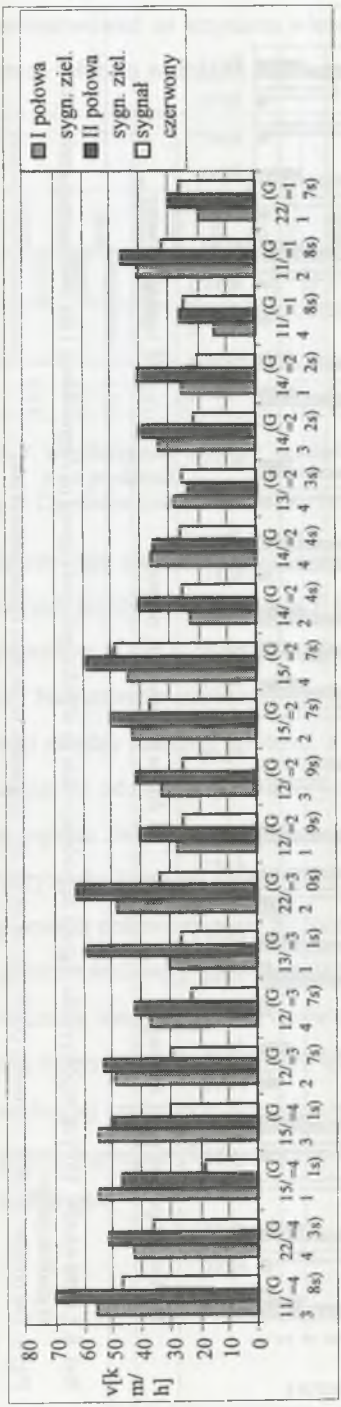
Szczegółowa analiza dotyczy: prędkości średnich, odchylenia standardowego i współczynników zmienności dla trzech przedziałów cyklu sygnalizacyjnego. W analizie uwzględniono także długość sygnału zielonego. Uzyskane wartości prędkości średnich w poszczególnych przedziałach cyklu przedstawiono graficznie na rysunku 3, zaś wartości odchyleń standardowych i współczynników zmienności odpowiednio na rysunkach 4 i 5.

Uzyskane wyniki grupowano, przyjmując jako kryterium moment pojawienia się pojazdu w cyklu sygnalizacyjnym. I tak, dla każdego wlotu, pierwsze dwie grupy wyników odnoszą się do dwóch, równo podzielonych części sygnału zielonego, grupę trzecią stanowią pojazdy dojeżdżające w trakcie sygnału żółtego i czerwonego. Parametry na rysunkach 3,4 i 5 uszeregowano w zależności od długości sygnału zielonego G na wlotach. Długości przedziałów ufności uzyskanych prędkości średnich, w poszczególnych przedziałach cyklu sygnalizacyjnego, przy liczebnościach n_i, nie przekraczają 8 km/h z prawdopodobieństwem P= 0.90.

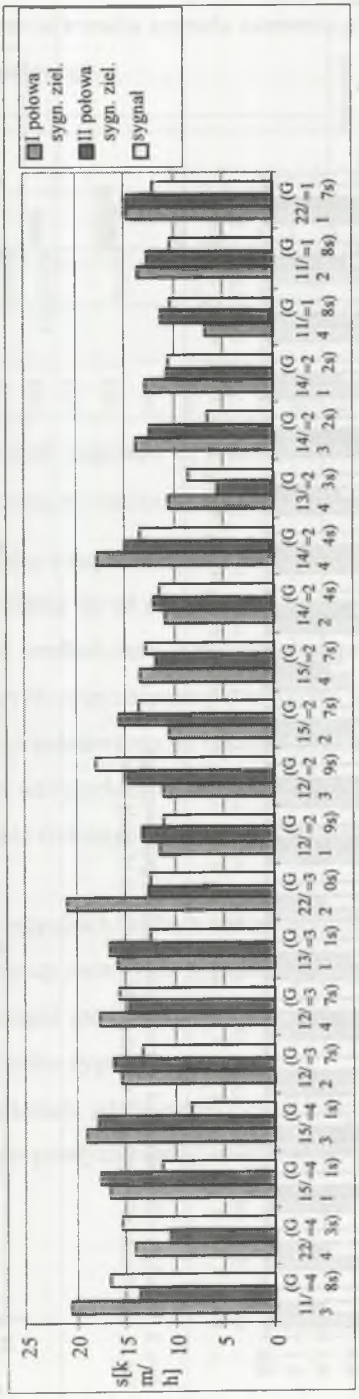
Na podstawie wykresów przedstawionych na rysunkach 3, 4, 5 można stwierdzić, że:

- spośród dwudziestu analizowanych wlotów, aż na szesnastu średnie prędkości w drugiej połowie sygnału zielonego były większe niż w pierwszej, ale w pozostałych czterech przypadkach różnice prędkości średnich były niewielkie;
- na piętnastu wlotach prędkości średnie w trakcie sygnału czerwonego są najniższe, na czterech przewyższają prędkości średnie w pierwszej, a na jednym w drugiej połowie sygnału zielonego;
- wartości odchyleń standardowych (rys 4) prędkości w drugiej połowie sygnału zielonego, pomimo większych prędkości średnich, są mniejsze lub porównywalne z grupą pierwszą;
- drugą połowę sygnału zielonego - na czternastu wlotach, charakteryzują najmniejsze współczynniki zmienności ze wszystkich części cyklu sygnalizacyjnego.

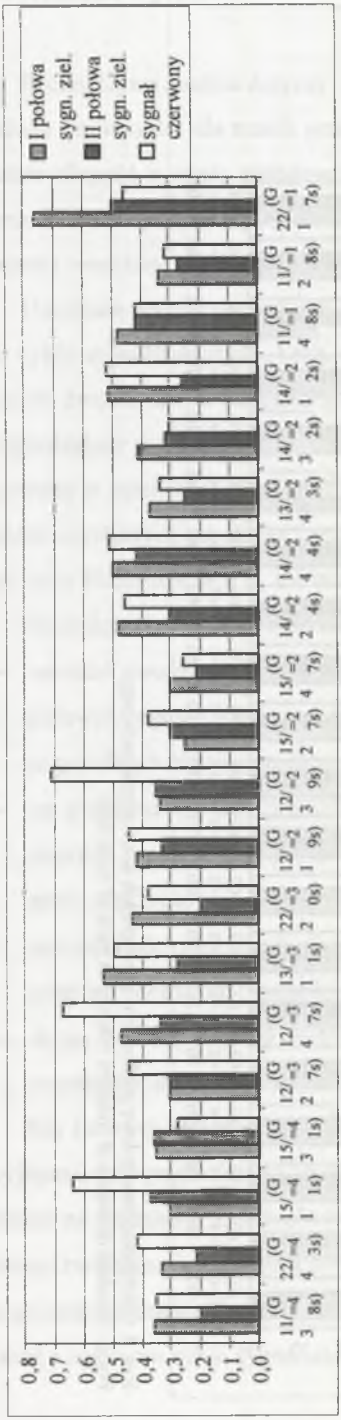
Siłę liniowej zależności między momentem pojawienia się pojazdów w cyklu sygnalizacyjnym i ich prędkościami charakteryzują współczynniki korelacji, które zostały przedstawione na rysunku 7. Zależność korelacyjna została uzasadniona testem istotności o braku korelacji na poziomie istotności α=0,05. Na piętnastu wlotach w pierwszej części sygnału zielonego oraz na czterech wlotach w drugiej części sygnału zielonego prędkość pojazdów wzrasta wraz z upływem cyklu sygnalizacyjnego.



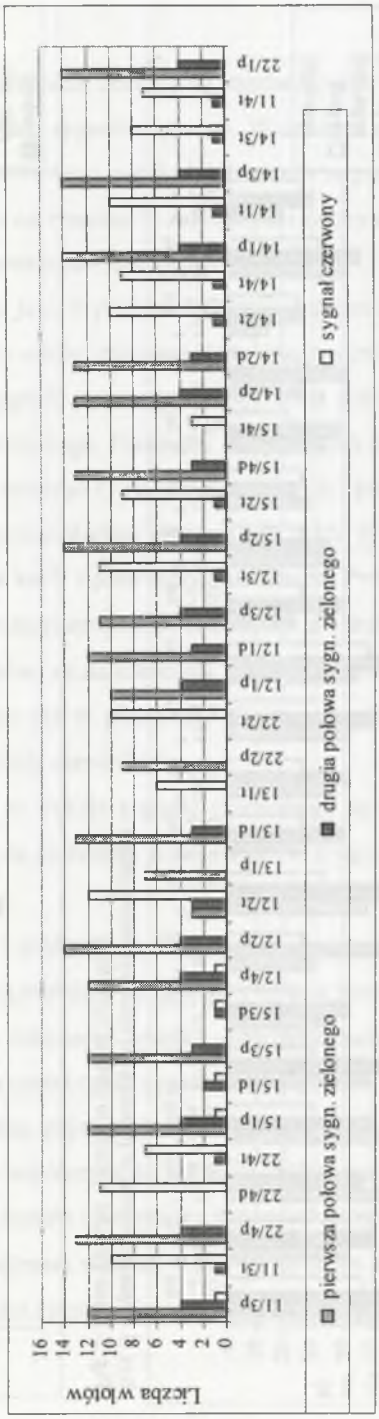
Rys. 3. Prędkość średnia w przedziałach cyklu sygnalizacyjnego
Fig. 3. Mean vehicles velocity in parts of cycle time



Rys. 4. Odchylenie standardowe prędkości w przedziałach cyklu sygnalizacyjnego
Fig. 4. Standard deviation of vehicles velocity in parts of cycle time

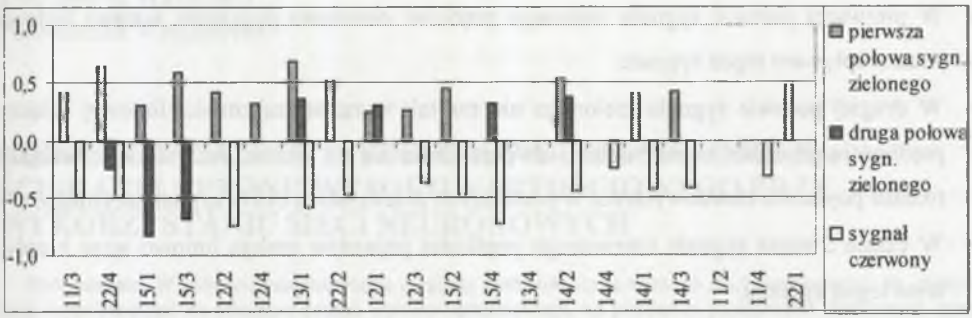


Rys. 5. Współczynnik zmienności w przedziałach cyklu sygnalizacyjnego
Fig. 5. Coefficient of variation of vehicles velocity in parts of cycle time



Rys. 6. Liczba wlotów, których współczynniki regresji są porównywalne ze współczynnikami regresji na danym wlocie i dla analizowanej części cyklu sygnalizacyjnego
Fig. 6. The number of inlets, regression coefficient of which are comparable to the ones on indywidual inlet

Korelację ujemną, tzn. zmniejszanie się prędkości pojazdów wraz z upływem cyklu, można zaobserwować na trzynastu wlotach w czasie trwania sygnału czerwonego, i co ciekawe, na trzech wlotach w drugiej części sygnału zielonego.



Rys. 7. Współczynniki korelacji pomiędzy momentem pojawienia się pojazdów w cyklu sygnalizacyjnym, a ich prędkością

Fig. 7. Correlation coefficient between the moment when the vehicles appears in the cycle time and their speed

Interesujące okazało się porównanie między sobą liniowych funkcji regresji (dla wlotów, na których współczynniki korelacji istotnie różnią się od zera) między momentem pojawienia się pojazdów w cyklu sygnalizacyjnym i ich prędkościami, z wykorzystaniem testu równoległości. Na poziomie istotności α=0,05 zweryfikowano hipotezy o równości współczynników regresji między różnymi wlotami, a wyniki przedstawiono na rysunku 6. Litery p,d,t dodane do numerów odcinków pomiarowych na osi odciętych oznaczają odpowiednio: pierwszą połowę sygnału zielonego, drugą połowę sygnału zielonego oraz sygnał czerwony.

Na rysunku 6 można zaobserwować, że:

- pierwszą połowę sygnału zielonego na wszystkich wlotach charakteryzuje porównywalny przyrost średniej prędkości pojazdów przy upływie cyklu sygnalizacyjnego,
- w czasie trwania sygnału czerwonego średnie prędkości pojazdów maleją porównywalnie dla wszystkich wlotów wraz z upływem cyklu sygnalizacyjnego,
- w drugiej części sygnału zielonego- na wlotach, gdzie współczynnik korelacji był dodatni, proste regresji wykazują równoległość do prostych regresji w pierwszej połowie sygnału zielonego.

6. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych analiz można wysnuć następujące wnioski:

- W pierwszej połowie sygnału zielonego prędkość chwilowa pojazdów wzrasta liniowo wraz z upływem tegoż sygnału.
- W drugiej połowie sygnału zielonego nie ma tak wyraźnej zależności liniowej między prędkością pojazdów a momentem ich pojawienia się na wlocie, lecz istnieje mniejszy rozrzut prędkości chwilowych niż w pozostałych przedziałach cyklu sygnalizacyjnego.
- W czasie trwania sygnału czerwonego prędkości pojazdów maleją liniowo wraz z upływem tegoż sygnału.
- Można oczekiwać, że pojazdy będą osiągać tym większe średnie prędkości chwilowe, im dłuższy jest sygnał zielony na wlocie.

LITERATURA

1. Sucharzewski W., Datka S., Tracz M.: Inżynieria ruchu, WKŁ, Warszawa 1997.
2. Walawski J.: Droga- bezpieczeństwo ruchu, WKŁ, Warszawa 1980.
3. Komenda Wojewódzka Policji w Kielcach: Analiza stanu bezpieczeństwa i porządku na drogach woj. świętokrzyskiego za 1999 r., Kielce 2000.
4. Major H., Nowakowska M.: Wzorce zdarzeń drogowych na skrzyżowaniach z wyspą centralną, IV Konferencja Bezpieczeństwa ruchu drogowego, Pułtusk, maj 2000, s. 251 - 266.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Andrzej Rudnicki

Abstract

In the work, some results of measured vehicles velocities go straight on signalized intersection, relationship between velocity and the moment, when vehicles appears in the cycle time were presented. Statistic analysis confirmed existing linear dependence between the moment, when the vehicles appears in part of cycle and part of green light and their speed.