

Ernest Popardowski

Analiza natężenia ruchu drogowego na wybranym skrzyżowaniu bez sygnalizacji świetlnej

JEL: R41 DOI: 10.24136/atest.2019.075
 Data zgłoszenia: 15.12.2018 Data akceptacji: 08.02.2019

W pracy przedstawiono pomiary natężenia ruchu drogowego wykonane na skrzyżowaniu ulic Zwierzynieckiej, Powiśle oraz Retoryka w Krakowie. Badania bazowały na obserwacjach natężenia potoków ruchu, z uwzględnieniem struktury rodzajowej i kierunkowej, w pięciominutowych interwałach czasowych. Posłużono się metodyką zgodną z Instrukcją obliczania przepustowości skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad. Natężenie ruchu dla całego skrzyżowania było stosunkowo równomierne, ze współczynnikiem zmienności na poziomie 9,07%. Najwyższe odnotowane natężenie występuje między 20 a 25 minutą pomiarów i wynosi 129,85 E/5min, z kolei najniższe to 96,2 E/5min, zaobserwowane w trakcie ósmego w kolejności interwału pomiarowego. Zdecydowanie największy odsetek w strukturze rodzajowej (około 88%) stanowią pojazdy osobowe. Udział pojazdów ciężkich w ruchu wynosi 12,35 %.

Słowa kluczowe: natężenie ruchu drogowego, skrzyżowanie bez sygnalizacji, transport drogowy, pojazdy.

Wstęp

Zgodnie z definicją ustawy - Prawo o ruchu drogowym [1], przez pojęcie skrzyżowanie rozumie się przecięcie się w jednym poziomie dróg mających jezdnię, ich połączenie lub rozwidlenie, łącznie z powierzchniami utworzonymi przez takie przecięcia, połączenia lub rozwidlenia. Najczęściej występującym rodzajem skrzyżowań w sieci dróg i ulic są skrzyżowania bez sygnalizacji świetlnej, na których ruch jest regulowany znakami „ustęp pierwszeństwa przejazdu” (A-7) lub „stop” (B-20) i „droga z pierwszeństwem przejazdu” (D-1) [2,3]. Miejsca tego typu stanowią jeden z najbardziej newralgicznych elementów infrastruktury drogowej ze względu na możliwość występowania dużej liczby punktów kolizji, a także zwiększenia ich powierzchni. Dodatkowo stanowią obszar, w którym następuje konsekwencja między wszystkimi uczestnikami ruchu, włącznie z pieszymi. Wszystkie wymienione czynniki sprawiają, że zapewnienie przejeźdności i sprawności ruchu na skrzyżowaniach staje się głównym problemem komunikacyjnym – szczególnie w średnich i dużych miastach. Aby umożliwić identyfikację miejsc, które są szczególnie narażone na podwyższone obciążenie ruchem drogowym konieczne jest wykonanie szczegółowych analiz, w tym pomiarów dotyczących natężenia ruchu tj. wielkości potoku lub pojedynczego strumienia ruchu obserwowanego w danym przekroju drogi, usytuowanym na wlocie skrzyżowania [2].

Przedstawione w pracy wyniki badań stanowią część cyklu pomiarów prowadzonych przez pracowników Instytutu Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie [4,5,6]. Uzyskane wyniki stanowią podstawę do opracowania materiałów dydaktycznych dla studentów przedmiotu Inżynieria Ruchu.

1 Metodyka i przedmiot badań

W niniejszej pracy zastosowano metodykę i oznaczenia zgodne z Instrukcją obliczania przepustowości skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad [7]. Obliczenia wykonano dla poszczególnych relacji, wlotów a także dla całego skrzyżowania. Wprowadzono jedną zmianę względem przytoczonej powyżej metodyki, polegającą na zwiększeniu zróżnicowania pojazdów występujących w ruchu drogowym. Posłużono się w tym przypadku nieznacznie zmodyfikowaną klasyfikacją stosowaną w Zjednoczonym Królestwie Wielkiej Brytanii [8]. W strukturze rodzajowej uwzględniono udział rowerów, motocykli, zaprzęgów (maszyn budowlanych bądź pojazdów rolniczych lub wolnobieżnych), samochodów osobowych, dostawczych, ciężarowych, autobusów, ciężarowych z przyczepami, a także ruch pieszy i tramwajowy. Następnie dla wyróżnionych rodzajów pojazdów wprowadzono współczynniki przeliczeniowe na pojazdy umowne których wartości zamieszczono w tab. 1.

Dla każdej z relacji wykonano analizę statystyczną polegającą na wyznaczeniu podstawowych wskaźników, takich jak zakres wahań przypadkowych czy współczynnik zmienności (ϵ). Określono także współczynnik nierównomierności ruchu w godzinie (k_{15}), zgodnie ze wzorem 1 [7], w którym „Q” rozumiane jest jako sumaryczne natężenie ruchu w ciągu godziny pomiarów, a „ q_{15}^{max} ” jako największa wartość natężenia ruchu występująca w jednym z piętnastominutowych interwałów czasowych.

$$k_{15} = \frac{Q}{4q_{15}^{max}} \quad (1)$$

Ponadto dokonano ustalenia udziału pojazdów ciężkich w strukturze ruchu na skrzyżowaniu (u_c) zgodnie ze wzorem 2, gdzie przez Q_A ; Q_C i Q_{Cp} rozumie się godzinowe natężenie kolejno - autobusów, samochodów ciężarowych oraz samochodów ciężarowych z przyczepą/naczepą.

$$u_c = \frac{Q_A + Q_C + Q_{Cp}}{Q} \quad (2)$$

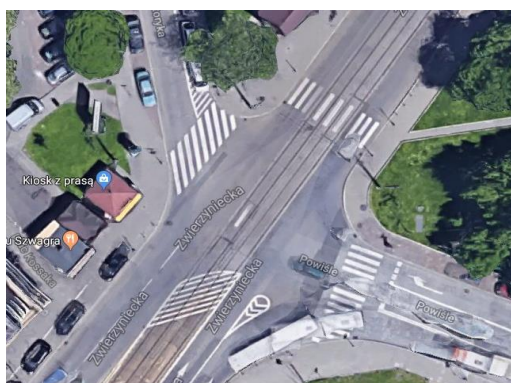
Tab. 1. Współczynniki przeliczeniowe na pojazdy umowne

Rodzaj pojazdu	Oznaczenie pojazdu	Wartość współczynnika [E]
Rowery	R	0,2
Motocykle	M	0,4
Zaprzęgi (maszyn budowlane bądź pojazdy rolnicze lub wolnobieżne)	Z	0,5
Samochody osobowe	O	1,0
Samochody dostawcze	X	1,0
Samochody ciężarowe	C	1,5
Autobusy	A	2,0
Samochody ciężarowe z przyczepą/naczepą	Cp	2,3
Tramwaje	T	3

Źródło: opracowanie własne na podstawie Salter (1987); Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad (2004)

Pomiar natężenia ruchu drogowego został wykonany w piątek 13 kwietnia 2018 roku i obejmował jednogodzinny okres w trakcie popołudniowego szczytu przewozowego pomiędzy godzinami 16.00 a 17.00. Badania polegały na obserwacji natężenia potoków ruchu, z uwzględnieniem struktury rodzajowej i kierunkowej, w pięciominutowych interwałach czasowych. Zaobserwowane jednostki transportowe odnotowywano na specjalnie przeznaczonych do tego celu kartach pomiarowych. W dniu pomiarów warunki drogowe były trudne, ze względu na występowanie umiarkowanych opadów deszczu.

Przedmiot badań stanowiło widoczne na rysunku 1 skrzyżowanie ulic Zwierzynieckiej, Powiśle oraz Retoryka, znajdujące się w Krakowie.



Rys. 1. Miejsce wykonywania pomiarów - skrzyżowanie ulic Zwierzynieckiej (ulica nadrzędna), Powiśle oraz Retoryka
Źródło: <https://maps.google.com/>

Miejsce to jest położone w dzielnicy I Stare Miasto (rys. 2) i oddalone o 500 metrów w linii prostej od Wzgórza Wawelskiego. Na ulicy Zwierzynieckiej znajduje się podwójne torowisko tramwajowe, w obrębie całego skrzyżowania występują trzy przejścia dla pieszych, a wloty ulic bocznych działają na zasadzie podporządkowania ruchu znakami A-7. W bezpośrednim sąsiedztwie skrzyżowania brak jest przystanków autobusowych czy tramwajowych.



Rys. 2. Lokalizacja skrzyżowania na planie miasta Krakowa
Źródło: <https://www.bip.krakow.pl/>

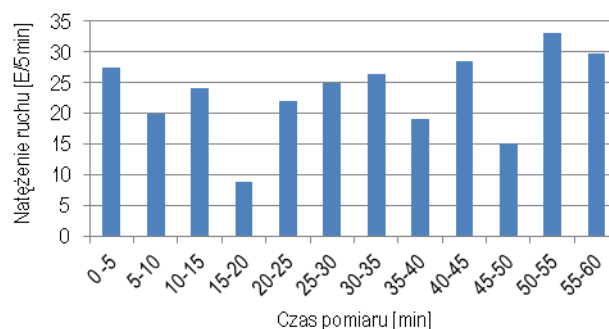
2 Wyniki badań

Przedstawione poniżej wyniki badań zostały usystematyzowane w takim sposób, aby umożliwić analizę poszczególnych relacji występujących na każdym wlocie skrzyżowania.

2.1 Wlot od ulicy Retoryka

Ulica Retoryka stanowi przedłużenie ulicy Wenecja. Na przeważającej części terenu występuje zabytkowa zabudowa kamienicowa z dominującą rolą lokali mieszkalnych. Na wlocie skrzyżowania od ulicy Retoryka występują trzy relacje – skręt w prawo, skręt w lewo oraz jazda na wprost. Na rys. 3 zobrazowano zmienność natężenia ruchu dla omawianego wlotu w czasie obserwacji.

Dla relacji skręt w prawo zaobserwować można wysoką nierównomierność rozkładu natężenia ruchu w ciągu całego okresu obserwacji. Zakres zmienności oscylował między 15 a 29 E/5min, z jednym wyjątkiem, w czwartym interwale pomiarowym tj. między 15 a 20 minutą pomiaru, kiedy to liczba poruszających się samochodów była wyraźnie mniejsza. Wyznaczony współczynnik nierównomierności ruchu w godzinie (k_{15}) osiągnął wartość 0,92. Zróżnicowanie pojazdów było bardzo małe z wyraźną przewagą samochodów osobowych, które stanowiły 96,5% wszystkich uczestników ruchu. Dla danej relacji nie odnotowano występowania pojazdów ciężkich (autobusów i samochodów ciężarowych).



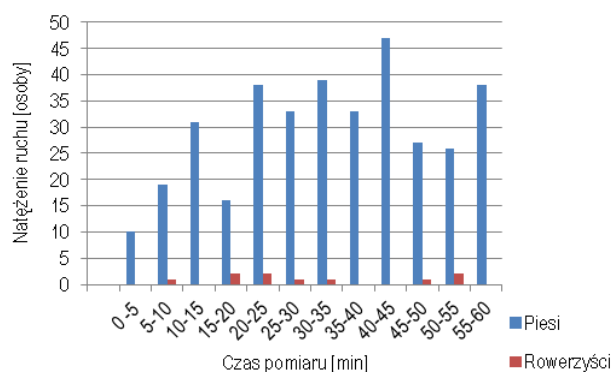
Rys. 3. Całkowita zmienność natężenia ruchu dla wszystkich relacji wlotu od ul. Retoryka

Dla relacji skręt w lewo natężenie ruchu było bardzo małe. Odnotowano jedynie 19 uczestników ruchu co przełożyło się na wartość 19,5 E. W dwóch interwałach czasowych dla relacji tej ruch pojazdów był zerowy. Współczynnik zmienności natężenia w poszczególnych interwałach przyjął wartość 78%. Podobnie jak w przypadku relacji skręt w prawo przewagę w strukturze rodzajowej stanowiły samochody osobowe. Dodatkowo zarejestrowano jednego rowerzystę oraz jeden samochód ciężarowy z naczepą.

Dla relacji jazda na wprost nie występował ruch pojazdów silnikowych. W ciągu godzinnej obserwacji odnotowano jedynie 6 rowerzystów podzielonych na 3 grupy. Natężenie ruchu dla tej relacji stanowi jedynie 0,43% natężenia dla całego wlotu.

W rozpatrywanym przypadku zaobserwowano najwyższą wartość współczynnika nierównomierności ruchu wśród wszystkich wlotów, wynoszącą 0,9. Największą wartość równą 0,28 przyjął również współczynnik zmienności (ϵ).

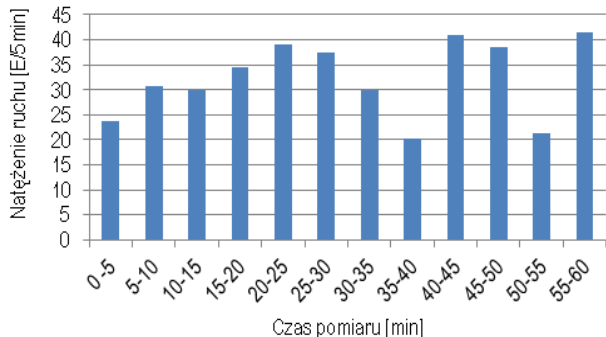
W pobliżu wlotu od ulicy Retoryka zlokalizowane jest przejście dla pieszych. Na rys. 4 przedstawiono natężenie ruchu pieszych oraz rowerzystów przekraczających w tym miejscu jezdnię. Liczba osób poruszających się pieszo wyniosła w całym okresie pomiarowym 357. Odnotowano również 10 osób przemieszczających się za pomocą roweru.



Rys. 4. Zmienność natężenia ruchu na przejściu dla pieszych na ulicy Retoryka

Wlot od ulicy Powiśle

Ulica Powiśle stanowi kontynuację ulicy Podzamcze. Biegnie wzdłuż brzegu Wisły, a na jednym z jej końców zlokalizowany jest parking autobusów turystycznych dla zwiedzających pobliskie Wzgórze Wawelskie. Na wlocie skrzyżowania od ulicy Powiśle występują dwie relacje – skręt w prawo oraz skręt w lewo. Rysunek 5 przedstawia zmienność natężenia ruchu dla niniejszego wlotu.

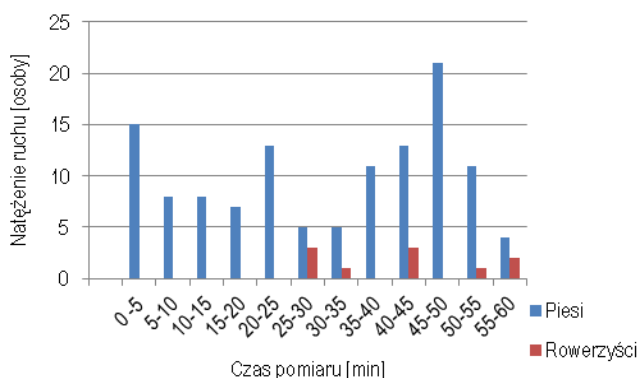


Rys. 5. Całkowita zmienność natężenia ruchu dla wszystkich relacji wlotu od ul. Powiśle

Dla relacji skręt w prawo, poza przeważającym udziałem w ciągu całego okresu pomiarowego, samochodów osobowych wyróżnić można również zintensyfikowany ruch autobusowy. Udział autobusów w strukturze rodzajowej stanowi ponad 13%. W przeciwieństwie do wlotu od ulicy Retoryka dla omawianej relacji odnotowano ruch samochodów dostawczych, a także motocykli. Nierównomierność natężenia ruchu drogowego jest bardzo duża. Świadczyć o tym może różnica natężenia na poziomie 21 E/5min między dwoma sąsiednimi interwałami czasowymi tj. między 35 a 40 minutą oraz między 40, a 45 minutą pomiarów.

Dla relacji skręt w lewo natężenie ruchu jest o ponad 40% mniejsze niż w przypadku relacji skręt w prawo. Również w tym przypadku odnotowano niewielki ruch pojazdów jednośladowych oraz samochodów dostawczych. Znaczący udział wynoszący blisko jedną trzecią wszystkich uczestników ruchu stanowiły autobusy. Dla obu omawianych na tym wlocie relacji współczynnik nierównomierności ruchu k_{15} wyniósł 0,80.

Na wlocie od ulicy Powiśle nie odnotowano ruchu pojazdów ciężarowych, występował jednak wzmożony ruch autobusów dla obu występujących relacji. Spowodowane jest to usytuowaniem w pobliżu dużym parkingiem autobusowym obsługującym większość zorganizowanych wycieczek zwiedzających Kraków.



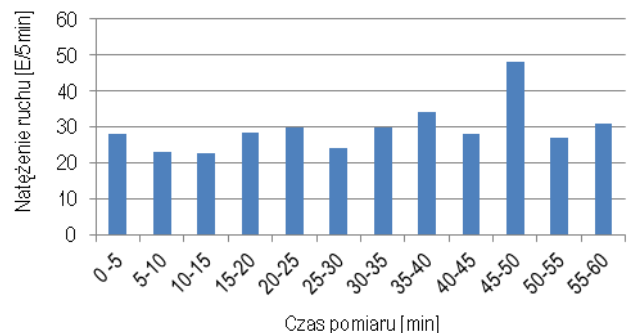
Rys. 6. Zmienność natężenia ruchu na przejściu dla pieszych na ulicy Powiśle

W pobliżu tego wlotu znajduje się drugie z trzech przejść dla pieszych występujących w obrębie omawianego skrzyżowania. Rysunek 6 obrazuje występujące w tym miejscu natężenie ruchu pieszego

oraz rowerowego. W trakcie okresu pomiarowego odnotowano 121 pieszych i 10 rowerzystów.

Wlot od ulicy Zwirzyńskiej (od strony Rynku Głównego)

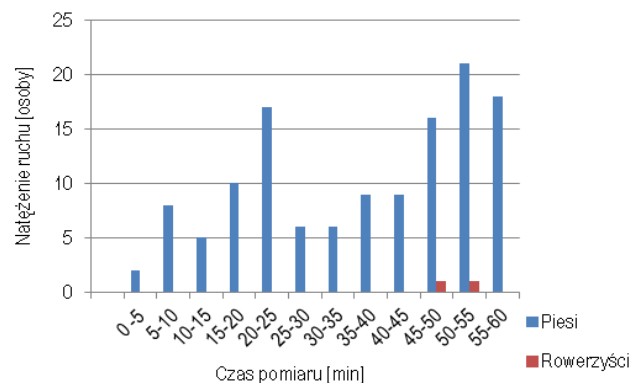
Ulica Zwirzyńska, a następnie jej przedłużenie, które stanowi ulica Tadeusza Kościuszki to główny trakt łączący dzielnice Stare Miasto i Salwator. Na ulicy tej znajduje się podwójne torowisko tramwajowe, a w występującej tu zabudowie przeważają kamienice z końca XIX wieku, wykorzystywane zarówno jako lokale mieszkalne, jak i usługowe. Na wlocie od strony Rynku Głównego obowiązują dwie relacje – jazda na wprost oraz skręt w lewo. Podczas trwania pomiarów nie zaobserwowano żadnego pojazdu na relacji skręt w lewo. Tym samym natężenie dla tej relacji jest równe 0, a wartości uzyskane dla relacji jazda na wprost, które zostały przedstawione na rys.7 są równocześnie wynikami dla całego wlotu.



Rys. 7. Całkowita zmienność natężenia ruchu dla wszystkich relacji wlotu od ul. Zwirzyńskiej (od strony Rynku Głównego)

Na wlocie tym występowało wysokie natężenie ruchu z wyraźną nierównomiernością jego rozkładu w czasie. Dla interwału między 45 a 50 minutą pomiarów wartość Q_r wynosiła ponad 48 E/5min, podczas gdy najniższy odnotowany wynik (między 10 a 15 minutą pomiarów) przyjął wartość jedynie 22,5 E/5min. Tym samym nierównomierność ruchu określona współczynnikiem k_{15} była równa 0,83, a wyznaczone odchylenie standardowe wyniosło niespełna 6,5 E/5min. Podobnie jak dla pozostałych relacji, również w tym przypadku udział samochodów osobowych był dominujący, jednak zaobserwowano także zwiększony ruch pojazdów dostawczych i autobusów. W strukturze rodzajowej pojawiły się rowery, motocykle, samochody ciężarowe a także dwa pojazdy sklasyfikowane jako zaprzęgi.

Na ulicy Zwirzyńskiej, bezpośrednio przy wlocie od strony Rynku Głównego, znajduje się przejście dla pieszych. Na rys. 8 zestawiono liczbę pieszych oraz rowerzystów przekraczających w danym miejscu jezdnię, w trakcie prowadzonych obserwacji. Zaobserwowano 127 pieszych i 2 rowerzystów.

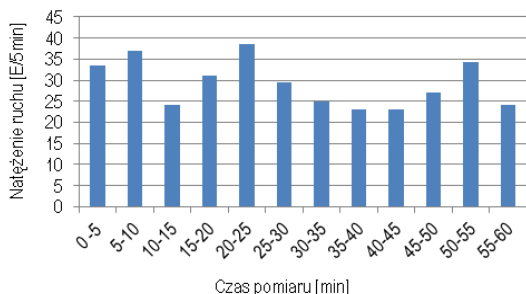


Rys. 8. Zmienność natężenia ruchu na przejściu dla pieszych na ulicy Zwirzyńskiej

Wlot od ulicy Zwierzynieckiej (od strony dzielnicy Salwator)

Na wlocie od strony dzielnicy Salwator obowiązują dwie relacje – jazda na wprost oraz skręt w prawo.

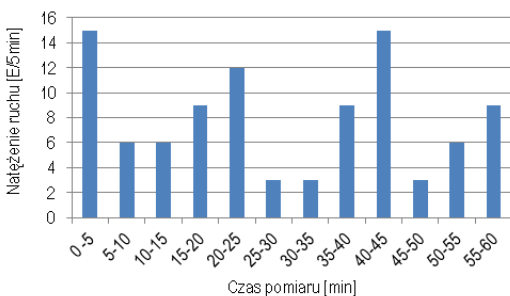
Relacja skręt w prawo charakteryzuje się umiarkowanym natężeniem ruchu, wahającym się między 2 a 15 E/5min z tendencją spadkową w kolejnych interwałach pomiarowych. Wyraźnie widoczne jest zwiększenie udziału autobusów, które stanowią 20,3% wszystkich pojazdów. Wyznaczony współczynnik nierównomierności ruchu w godzinie wynosi 0,72.



Rys. 9. Całkowita zmienność natężenia ruchu dla wszystkich relacji wlotu od ul. Zwierzynieckiej (od strony dzielnicy Salwator)

Relacja jazda na wprost na wlocie od strony dzielnicy Salwator to jedna z dwóch najbardziej obciążonych ruchem relacji zaobserwowanych na danym skrzyżowaniu. Odnotowano tu ruch niemal wszystkich rodzajów pojazdów, z wyjątkiem samochodów ciężarowych z przyczepą. W trakcie pomiarów stwierdzono znaczną ilość samochodów dostawczych. Warto podkreślić stosunkowo wysoką w porównaniu z innymi relacjami wartość współczynnika k_{15} wynoszącą 0,89.

Na ulicy Zwierzynieckiej odbywa się ruch pojazdów szynowych, poruszających się w obu kierunkach. Jest to trasa trzech linii miejskich. Natężenie ruchu tramwajowego w trakcie jednej godziny pomiarów wyniosło 84 E. Zmienność natężenia przedstawiono na rys. 10.



Rys. 10. Zmienność natężenia ruchu tramwajowego na ul. Zwierzynieckiej

Tab. 2. Natężenie ruchu pojazdów na skrzyżowaniu

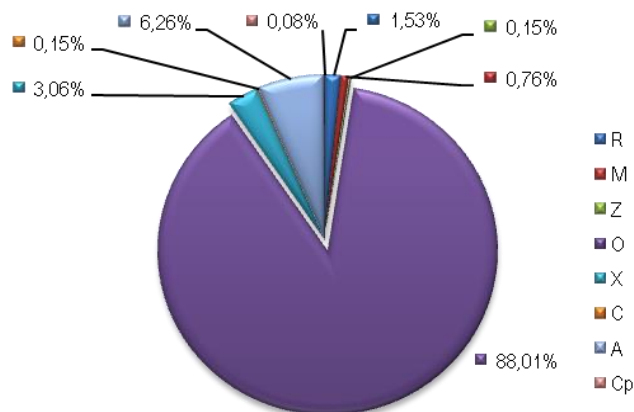
Czas pomiaru: [min.]	R		M		Z		O		X		C		A		Cp		Suma:	
	[P]	[E]	[P]	[E]	[P]	[E]	[P]	[E]	[P]	[E]	[P]	[E]	[P]	[E]	[P]	[E]	[P]	[E]
0-5	6	1,2	1	0,4	0	0	89	89	2	2	0	0	10	20	0	0	108	112,6
5-10	0	0	2	0,8	0	0	94	94	2	2	0	0	7	14	0	0	105	110,8
10-15	1	0,2	0	0	0	0	83	83	2	2	1	1,5	7	14	0	0	94	100,7
15-20	4	0,8	1	0,4	1	0,5	81	81	4	4	0	0	8	16	0	0	99	102,7
20-25	0	0	0	0	0	0	109	109	3	3	1	1,5	8	16	0	0	121	129,5
25-30	0	0	2	0,8	0	0	97	97	2	2	0	0	8	16	0	0	109	115,8
30-35	2	0,4	0	0	0	0	91	91	4	4	0	0	8	16	0	0	105	111,4
35-40	1	0,2	0	0	0	0	86	86	2	2	0	0	4	8	0	0	93	96,2
40-45	0	0	1	0,4	0	0	106	106	4	4	0	0	5	10	0	0	116	120,4
45-50	3	0,6	1	0,4	1	0,5	104	104	3	3	0	0	10	20	0	0	122	128,5
50-55	2	0,4	0	0	0	0	103	103	8	8	0	0	2	4	0	0	115	115,4
55-60	1	0,2	2	0,8	0	0	109	109	4	4	0	0	5	10	1	2,3	122	126,3
Suma:	20	4	10	4	2	1	1152	1152	40	40	2	3	82	164	1	2,3	1309	1370,3

Podsumowanie

W tab. 2 zestawiono skumulowaną ilość pojazdów zaobserwowanych podczas badań oraz wartość przelicznika na pojazdy umowne, dla całego skrzyżowania. Z kolei na rys.11 przedstawiona została struktura rodzajowa pojazdów, które w trakcie pomiarów poruszały się po omawianym skrzyżowaniu.

Natężenie ruchu dla całego skrzyżowania, w przeciwieństwie do poszczególnych wlotów, rozkłada się w sposób stosunkowo równomierny, z odchyleniem standardowym 10,36 E/5min oraz współczynnikiem zmienności na poziomie 0,93. Najwyższe natężenie wystąpiło między 20 a 25 minutą pomiarów i wynosi 129,5 E/5min. Najniższe natężenie to 96,2 E/5min, zaobserwowano w trakcie ósmego w kolejności interwału pomiarowego. W strukturze rodzajowej wystąpiły wszystkie pojazdy zawarte w tabeli 1. Zdecydowanie największy udział (około 88%) stanowiły pojazdy osobowe. Udział pojazdów ciężkich w ruchu wyniósł 12,35 %. Dla trzech z czterech wlotów niniejszego skrzyżowania zaobserwowano wzmożony ruch autobusów.

Jak wspomniano uprzednio, jest to spowodowane występowaniem dużego parkingu u podnóża Wzgórza Wawelskiego, do którego prowadzi ulica Powiśle. Takie położenie częściowo determinuje natężenie ruchu, a w konsekwencji wpływa na przepustowość skrzyżowania.



Rys. 11. Struktura rodzajowa pojazdów na skrzyżowaniu

Bibliografia:

1. Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. - Prawo o ruchu drogowym (Dz.U. 1997 nr 98 poz. 602).
2. Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M., Inżynieria ruchu drogowego, WKiŁ, Warszawa 2014.
3. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury oraz Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 31 lipca 2002 r. w sprawie znaków i sygnałów drogowych (Dz.U.2002.170.1393)

4. Zagórda M. Juliszewski T. Kielbasa P. Drózd T., Planowanie transportu drogowego w przedsiębiorstwie rolnym, Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, Instytut Naukowo-Wydawniczy "SPATIUM", Radom 2018.
5. Kielbasa P. Juliszewski T. Zagórda M. Trzyniec K. Tlalka K., Analiza struktury wydatku energetycznego kierowców samochodów ciężarowych w czasie realizacji przewozu transportowego, Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, Instytut Naukowo-Wydawniczy "SPATIUM", Radom 2018.
6. Zagórda M. Kielbasa P. Juliszewski T. Drózd T. Szczuka M., Rejestracja pracy środków transportowych z wykorzystaniem systemu GPS, Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, Instytut Naukowo-Wydawniczy "SPATIUM", Radom 2017.
7. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Metoda obliczania przepustowości skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej, Warszawa 2004.
8. Salter R.J., (red) Highway Traffic Analysis and Design, Wydanie II, Macmillan Publishers, Londyn 1987.

Analysis of traffic volume at the selected crossroads without traffic lights

The study presents contains traffic volume measurements performed at the crossroads of Zwierzyniecka, Powisle and Retoryka streets in Krakow. The research was based on the observations of passing vehicles and including the vehicle kind and directional structure, in five-minute time intervals. The methodology was used in accordance with the Instruction for calculating intersection capacity without traffic lights of the General Directorate of National Roads and Motorways. The traffic volume for the whole crossroads was relatively even, with a coefficient of variation of 9.07%. The highest record traffic volume occurs between 20 and 25 minutes of measurements and amounts to 129.85 E / 5min, while the lowest is 96.2 E/ 5min, observed during the eighth measurement interval. The largest percentage in the generic structure (around 88%) are passenger cars. The share of heavy vehicles in traffic is 12.35%.

Keywords: traffic road volume, crossroads without traffic lights, road transport, vehicles

Autor:

mgr inż. **Ernest Popardowski** – Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Instytut Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych