

CHODUR Janusz<sup>1</sup>  
OSTROWSKI Krzysztof<sup>2</sup>

## Wjazdy pojazdów na skrzyżowanie w okresie zmiany sygnałów świetlnych

Sygnalizacja świetlna  
Bezpieczeństwo ruchu  
Czasy tracone

### Streszczenie

*W obszarach miejskich jak i zamiejskich bardzo często dochodzi do wjazdów pojazdów na skrzyżowanie na sygnale żółtym oraz do niedozwolonych i niebezpiecznych wjazdów pojazdów na sygnale czerwonym. W artykule przedstawiono skalę tego zjawiska oraz naświetlono zagrożenia wynikające z niebezpiecznych zachowań kierujących pojazdami w odniesieniu do pasów ruchu z relacją na wprost. Analizami objęto skrzyżowania miejskie zlokalizowane na głównych arteriach, oraz skrzyżowania zamiejskie zlokalizowane na drogach krajowych. Przedstawiono również problem analizy czasu traconego na końcu fazy ruchu, który ma istotne znaczenie przy wyznaczaniu przepustowości pasów ruchu.*

### VEHICLE ENTRIES ON INTERSECTION DURING SIGNALS CHANGES

### Abstract

*Entries during yellow signal and red-light-running phenomenon are often observed on signalized intersections localized in urban as well as rural areas. The paper presents the scale of the problem in accordance to traffic safety on through lanes. Intersections localized on main arterials in urban areas and rural national roads were analyzed. Furthermore the problem of lost time during the phase termination which is crucial in capacity estimation model was presented.*

### 1. WSTĘP

Skrzyżowania miejskie i zamiejskie różnią się pod względem funkcjonalnym. Prowadzą ruch pojazdów zróżnicowany pod względem celów podróży. W mieście cele te związane są głównie z pracą, domem, zakupami i innymi podróżami o charakterze rekreacyjnym. Z kolei skrzyżowania zamiejskie prowadzą głównie ruch tranzytowy pomiędzy miastami, regionami oraz niewielki ruch lokalny. Porównując cechy potoków ruchu stwierdza się, że w miastach występują większe potoki ruchu głównie pojazdów lekkich oraz częste stany kongestii, natomiast za miastem obserwuje się mniejsze natężenia ruchu, ale o bardziej zróżnicowanej strukturze, pojazdów poruszających się z większymi prędkościami. Struktura kierunkowa ruchu na skrzyżowaniach zamiejskich, na których zazwyczaj dominuje ruch na jednej z krzyżujących się dróg, różni się zdecydowanie od struktury kierunkowej ruchu na skrzyżowaniach miejskich. Coraz częściej na skrzyżowaniach poza miastami do regulacji ruchu stosuje się zmiennoczasową sygnalizację świetlną, z zaleconą przez GDDKiA dla skrzyżowań na drogach krajowych strategią „preference” przy braku wzbudzeń detektorów przez uczestników ruchu. Zakres rozbudowy skrzyżowań oraz algorytmy sterowania ruchem są bardziej zróżnicowane na skrzyżowaniach miejskich. Na skrzyżowaniach zamiejskich stosuje się głównie sterowanie z trzema podstawowymi fazami ruchu. Różna lokalizacja skrzyżowań i specyficzne cechy ruchu jak i sterowania implikują odmienne potrzeby i zachowania kierujących pojazdami. Stąd też istotne są analizy porównawcze skrzyżowań miejskich i zamiejskich.

W oparciu o badania empiryczne ruchu na skrzyżowaniach prowadzone w latach 2008 – 2011 zarówno w mieście [4] jak i poza miastem (ta część badań finansowana była w ramach grantu badawczego „Problemy eksploatacyjne skrzyżowań z sygnalizacją świetlną na drogach krajowych z wysokimi prędkościami” realizowanego w Katedrze Budowy Dróg i Inżynierii Ruchu Politechniki Krakowskiej) w artykule scharakteryzowane zostały wjazdy pojazdów na sygnale żółtym i czerwonym z uwzględnieniem lokalizacji skrzyżowań, geometrii wlotów i struktury rodzajowej ruchu. Zasygnalizowany został problem intensywności wjazdów w końcowym przedziale sygnału zielonego i jej wpływ na czasy tracone na końcu fazy ruchu. Poruszony został również problem wjazdów już po okresie zezwolenia na ruch na bezpieczeństwo ruchu.

### 2. CHARAKTERYSTYKA BADAŃ EMPIRYCZNYCH

Badania empiryczne wykonywano na wybranych skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną zlokalizowanych w Krakowie i w terenach zamiejskich na drogach krajowych położonych w województwie małopolskim, śląskim, łódzkim, mazowieckim i świętokrzyskim. Badaniem objęto pasy ruchu prowadzące relacje na wprost w grupach jedno-

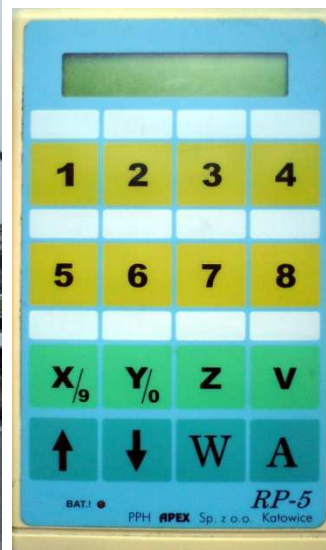
<sup>1</sup> Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, 31-155 Kraków, ul. Warszawska 24  
Tel.: +48 12 628-23-55, E-mail: jchodur@pk.edu.pl

<sup>2</sup> Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, 31-155 Kraków, ul. Warszawska 24  
Tel.: +48 12 628-25-39, E-mail: kostrowski@pk.edu.pl

i wielopasowych (2, 3 pasy). Pomiary ruchu wykonywano w szczycie porannym i popołudniowym. Badania prowadzono dla każdego pasa ruchu oddzielnie w różnych warunkach pogodowych.

Pomiary ruchu obejmowały rejestrację odstępów czasu pomiędzy tylnymi zderzakami kolejno przejeżdżających pojazdów przez linię zatrzymań w trakcie nadawania sygnałów świetlnych: czerwonego z żółtym, zielonego oraz żółtego na pasach przeznaczonych dla relacji na wprost. Rejestrowano również zjazdy na sygnale czerwonym. W badaniach uwzględniono strukturę rodzajową ruchu, w której wyróżniono pojazdy: osobowe, dostawcze, ciężarowe i autobusy oraz ciężarowe z przyczepą. W pomiarach wykorzystano przyciskowe rejestratory mikroprocesorowe RP5 i RP6. Każdy rejestrator obsługiwany był przez jednego pomiarowego i przeznaczony był do rejestracji danych ruchowych z pojedynczego pasa ruchu (rys. 1). Zarejestrowane przejazdy pojazdów i zmiany sygnałów zapisywane były w pamięci rejestratora, a następnie poddane zostały obróbce i analizie w programie Excell i Statistica.

a)



b)



Rys. 1. Przykładowe poligony badawcze zlokalizowane w mieście (a) i poza miastem (b) oraz przyrządy pomiarowe RP5 i RP6

## 2.1. Założenia dotyczące poligonów badawczych

Dla przeprowadzenia badań empirycznych wyselekcjonowano poligony badawcze tak, aby charakterystyki geometryczne oraz ruchowe analizowanych wlotów odpowiadały w przybliżeniu warunkom wyjściowym wg [4, 5]. Badania przeprowadzono na skrzyżowaniach miejskich i zamiejskich. Poniżej przedstawiono wybrane, najważniejsze założenia:

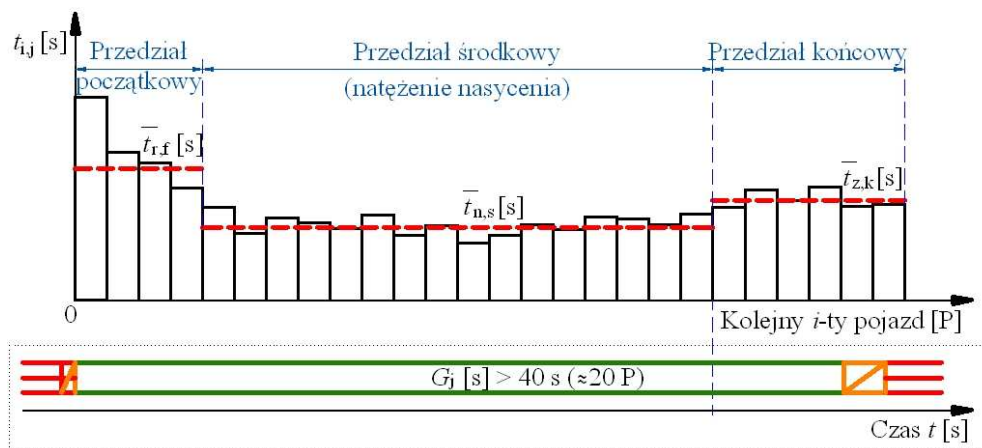
- podczas nadawania sygnału zielonego powinno występować pełne nasycenie ruchem, co przekłada się na występowanie kolejek pozostających w okresie pomiarowym trwającym minimum 40 cykli sygnalizacyjnych. W terenach zamiejskich można dopuścić część cykli w okresie analizy, w których kolejka pojazdów jest krótsza, a zjazdy pojazdów z kolejki zajmują minimum 80% długości sygnału zielonego,
- nie występuje blokowanie ruchu oraz tarczy skrzyżowania, co oznacza, że kolejka z poprzedniego skrzyżowania lub zatłoczenie na odcinku za skrzyżowaniem nie wpływa na pojazdy opuszczające badany wlot,
- małe pochylenie podłużne wlotu ( $\pm 1,5\%$ ), typowe szerokości pasów ruchu (około 3,5 m), dobry stan techniczny nawierzchni w tym torowiska tramwajowego, ewentualne zakrzywienie toru jazdy o dużym promieniu i niewielkim kącie zwrotu ( $R > 100$ ,  $\gamma < 10^\circ$ ). Czynniki te nie wpływają na zachowania kierujących pojazdami oraz dynamikę ruchu,
- kolejka pojazdów relacji skrajnej mieści się na pasie dodatkowym i nie blokuje ruchu na wprost.

## 2.2. Baza danych

W wyniku przeprowadzonych w latach 2008–2011 badań terenowych [4] na 11 wlotach skrzyżowań w Krakowie i 11 wlotach zamiejskich z relacją na wprost prowadzoną z 1, 2 i 3 pasów ruchu zbudowano w programie Excell bazę danych zawierającą pomierzone wartości odstępów czasu pomiędzy pojazdami oraz długości kolejek pozostających, jak również cechy charakteryzujące skrzyżowania oraz przebiegający przez nie ruch. W rezultacie w Krakowie zarejestrowano 38275 cykli sygnalizacyjnych o łącznym czasie badań 1155 godzin i odpowiednio na skrzyżowaniach zamiejskich 2290 cykli o łącznym czasie badań 61 godzin.

## 3. CZAS TRACONY NA KOŃCU SYGNAŁU ZIELONEGO

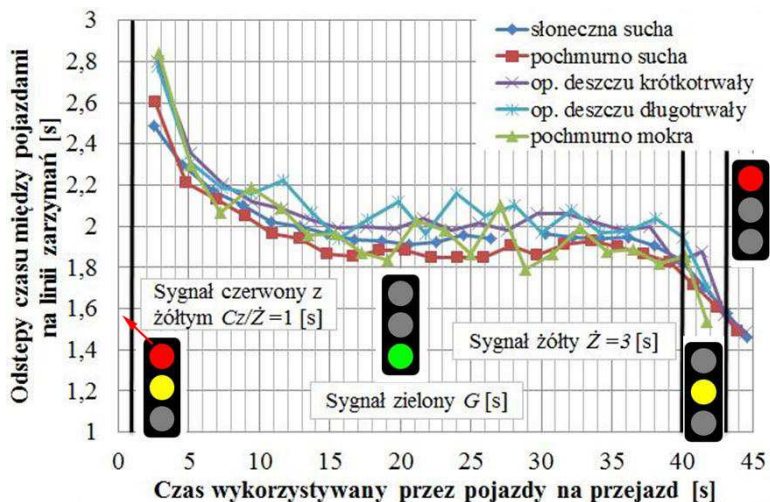
Metodyka przeprowadzonych badań umożliwia analizowanie wartości intensywności odpływu w poszczególnych przedziałach czasu fazy ruchu (analiza cykl po cyklu) [2, 4]. Intensywność odpływu w fazie ruchu opisywana jest w trzech podstawowych przedziałach. Pierwszy przedział obejmuje okres ruszania pojazdów po zapaleniu się sygnału czerwonego z żółtym, przedział środkowy, w którym ma miejsce wysoka ustabilizowana intensywność odpływu (natężenie nasycenia), oraz przedział końcowy, który obejmuje okres sygnału żółtego, a także początek czerwonego (rys. 2).



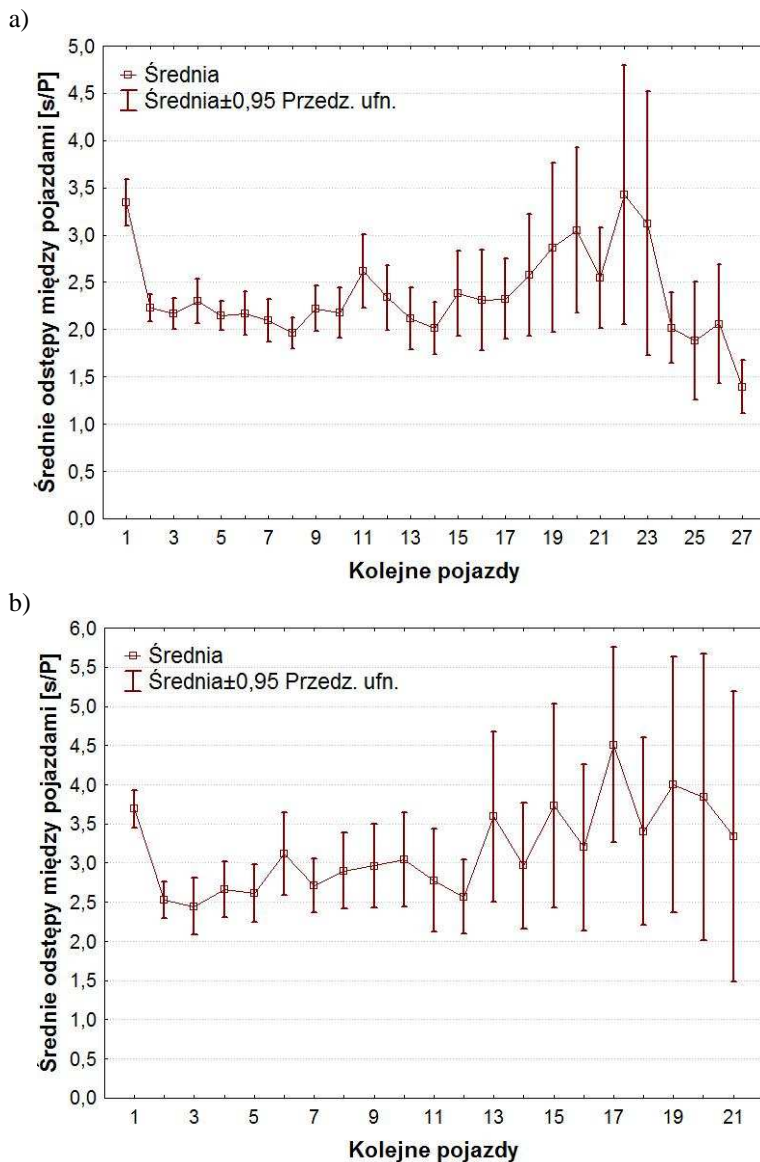
Rys. 2. Ilustracja graficzna zależności odstępów czasu między pojazdami od  $i$ -tej pozycji pojazdu w kolejce w cyklu sygnalizacyjnym

Początek przedziału końcowego określa moment w fazie ruchu, w którym następuje zmiana zachowań kierujących pojazdami, co skutkuje np. większymi odstępami między pojazdami. Przy różnej długości sygnałów zielonych wartość czasu traconego w przedziale końcowym może przyjmować wartości dodatnie oraz ujemne. Wartości dodatnie odzwierciedlają sytuacje, w których kierujący respektują zapalenie się sygnału żółtego i w większości przypadków zatrzymują pojazdy na sygnale żółtym. Ujemne wartości ukazują niebezpieczne zachowania kierujących, którzy pod koniec sygnału zielonego i na sygnale żółtym przyspieszają i zmniejszają odstęp między pojazdami do granicznie niskich wartości, chcąc zjechać jak najszybciej ze skrzyżowania (rys. 2 i 5). Takie zachowania wynikają zazwyczaj z długiego oczekiwania na zjazd w kolejce na wlocie, czy stanu kongestii w sieci drogowej. Często kierujący, wykorzystując w pełni sygnał żółty, wjeżdżają na skrzyżowanie jeszcze na sygnale czerwonym. Z badań wynika, że pełne wykorzystywanie sygnału żółtego przez kierujących oraz wjazdy na czerwonym sygnale w okresach szczytów ruchowych występują powszechnie na wszystkich przeciążonych skrzyżowaniach w różnych warunkach pogodowych (rys. 3).

Na rys. 4 przedstawiono wykres ilustrujący zmienność odstępów czasu między pojazdami w stanach nasycenia ruchem na skrzyżowaniach zamiejskich.



Rys. 3. Zjazdy kolejnych pojazdów osobowych z pasa wewnętrznego (lewego) na poligonie trzypasowym w Krakowie w szczycie popołudniowym, sterowanie stałoczasowe

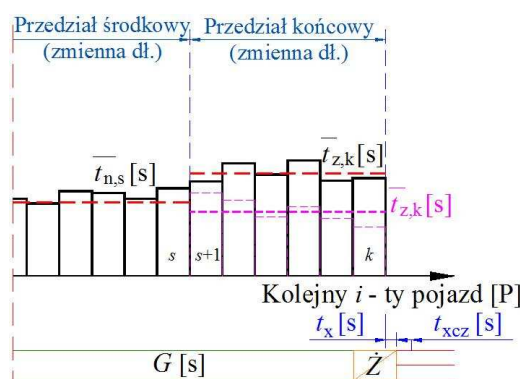


Rys. 4. Zjazdy kolejnych pojazdów osobowych z pasa wewnętrznego (a) i zewnętrznego (b) na skrzyżowaniach zamiejskich w szczycie porannym przy sterowaniu akomodacyjnym i suchej nawierzchni



Wykres obejmuje tylko takie cykle, w których występowały kolejki pojazdów, a ostatni pojazd przejeżdżał przez linię zatrzymań nie wcześniej niż 2s przed końcem sygnału zielonego. Oba wykresy (rys. 3 i 4) odnoszą się do par pojazdów osobowych. Na skrzyżowaniach zamiejskich w końcowym przedziale fazy zauważa się większe zróżnicowanie wartości odstępów w poszczególnych cyklach sygnalizacyjnych. Takie zróżnicowanie wynika z odmiennych zachowań kierujących pojazdami oraz z większego zróżnicowania długości sygnału zielonego (średnia wynosi 46s, a odchylenie standardowe 15,4s). Długie i zróżnicowane sygnały zielone na skrzyżowaniach zamiejskich związane są z rozkładem kierunkowym ruchu jak również stosowaną strategią sterowania. Na skrzyżowaniach zamiejskich najczęściej występuje strategia sterowania „preference”, która przypisana jest kierunkowi głównemu, czyli drodze o wyższej klasie technicznej prowadzącej zazwyczaj większe natężenie ruchu. Zakończenie fazy „preference” może nastąpić w przypadku wystąpienia zgłoszenia z grupy kolizyjnej. Wówczas sygnał zielony dla kierunku głównego zostaje przerwany w sposób określony przez projektanta np. w momencie wystąpienia odstępu czasu między pojazdami, większego od zdefiniowanego w projekcie lub stanu osiągnięcia maksymalnej długości sygnału zielonego, ewentualnie przekroczenia założonego, granicznego czasu oczekiwania w grupie kolizyjnej. Strategie sterowania „preference” stosowane są również w miastach na podmiejskich arteriach.

Poniżej (rys. 5) przedstawiono schemat obliczeniowy i zapisano matematycznie sposób obliczania czasu traconego w przedziale końcowym cyklu sygnalizacyjnego.



Rys. 5. Schemat obliczeniowy zastosowany przy wyznaczaniu czasu traconego na zatrzymanie

$$\overline{t_{z,k}} = \frac{\sum_{i=s+1}^k (t_i)}{k-s} \quad [s] \quad (1)$$

$$\overline{t_z} = \overline{t_{z,k}} - \overline{t_{n,s}} + t_x \quad (2)$$

$$\overline{t_z} = \overline{t_{z,k}} - \overline{t_{n,s}} - t_{xcz} \quad (3)$$

gdzie:  $\overline{t_{z,k}}$  – średni odstęp czasu między końcowymi  $(k-s)$  pojazdami, w cyklu,

$\overline{t_{n,s}}$  – średni odstęp czasu między pojazdami w środkowym przedziale sygnału zielonego,

$\overline{t_z}$  – średni czas tracony na zatrzymanie, w sytuacji gdy nie występują zjazdy na sygnale czerwonym (2) oraz w sytuacji gdy występują zjazdy na sygnale czerwonym w czasie  $t_{xcz}$  (3),

$t_x$  – niewykorzystana przez zjeżdżające pojazdy końcowa część sygnału żółtego, w sytuacji gdy nie występują wjazdy na sygnale czerwonym,

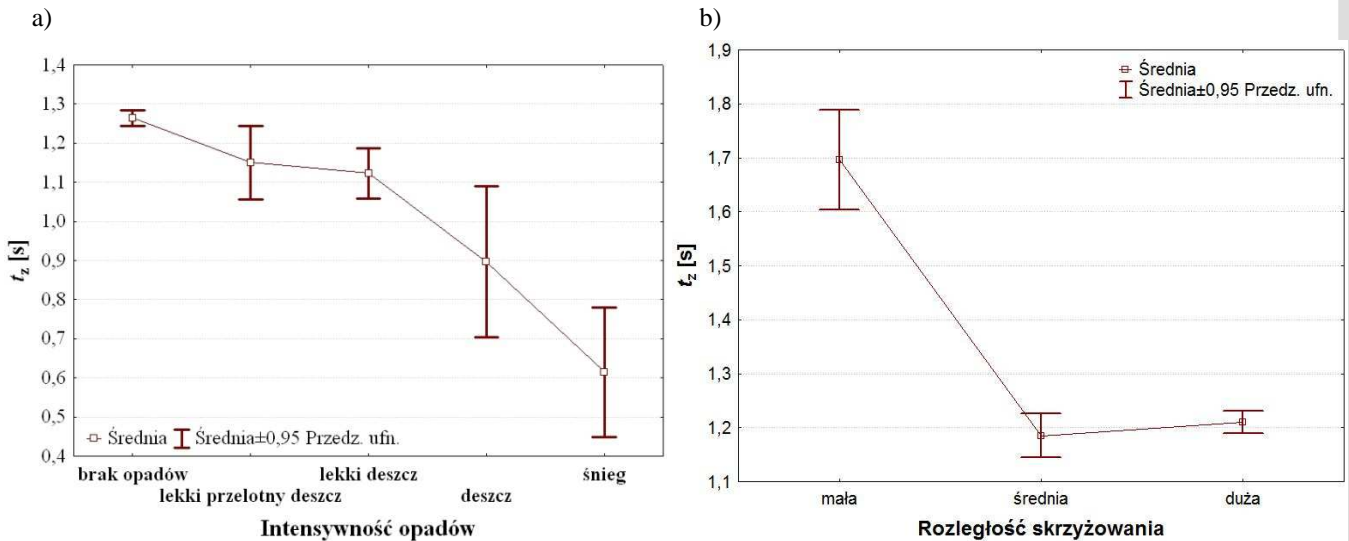
$t_{xcz}$  – wykorzystanie sygnału czerwonego na wjazdy pojazdów na skrzyżowanie w chwili przejazdu tyłu ostatniego pojazdu przez linię zatrzymań.

Dla określenia początku końcowego przedziału sygnału zielonego (pojazd  $s+1$ ) analizowano różnice odstępów czasu oraz przebieg średniej ważonej odstępów między pojazdami przejeżdżającymi kolejno linię zatrzymań. Statystyczna istotność różnic odstępów potwierdzano testem  $t$ -Studenta. Średnie czasy tracone na zatrzymanie  $t_z$  w końcowej części fazy ruchu w cyklach sygnalizacyjnych wyznaczone zostały na poszczególnych pasach ruchu wlotów skrzyżowań o różnej rozległości (mała poniżej 1200 m<sup>2</sup>, średnia od 1200 do 2400 m<sup>2</sup>, duża powyżej 2400 m<sup>2</sup>), przy różnych warunkach pogodowych. Brano również pod uwagę nieprzepisowe wjazdy na sygnale czerwonym. Na rys. 6 przedstawiono wyniki badań prowadzonych na skrzyżowaniach miejskich. Widoczny jest wpływ zróżnicowanych warunków pogodowych (rys. 6a) oraz rozległości skrzyżowania (rys. 6b). Spadek wartości czasu traconego  $t_z$  przy pogarszających się warunkach pogodowych (deszcz i śnieg) wynika z poruszania się pojazdów w większych a ponadto mniej zróżnicowanych odstępach w całym okresie zezwolenia na ruch. Zatem czas tracony będący różnicą przeciętnych odstępów czasu w środkowym

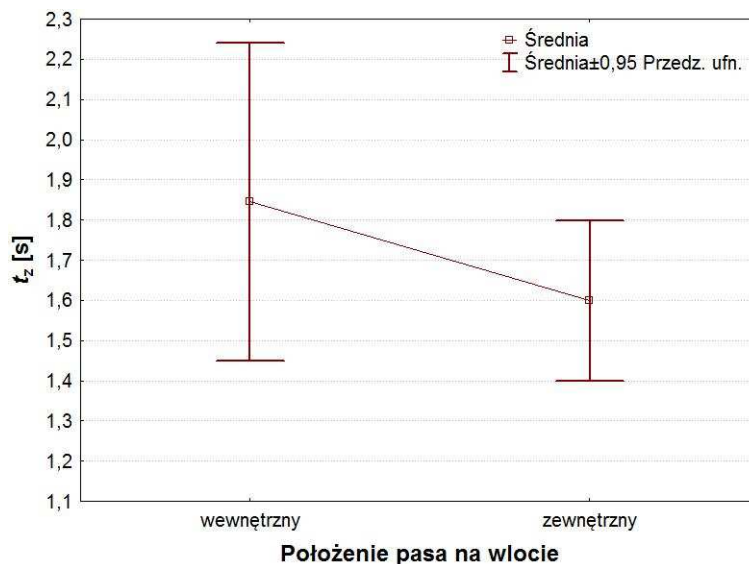
i końcowym przedziale fazy ruchu staje się mniejszy. W odniesieniu do wpływu rozległości miejskich skrzyżowań na czas tracony uzyskano zaskakujący wynik wzrostu czasu traconego przy małej rozległości skrzyżowania. Problem ten wymaga dalszych badań, m.in. dla zwiększenia liczebności próby pochodzącej ze skrzyżowań o małej rozległości (dotychczasowe liczebności prób: rozległość skrzyżowania duża – 4255, średnia – 1704, mała – 436).

Na rys. 7 pokazano zróżnicowanie czasu traconego  $t_z$  w zależności od położenia pasa na wlotach skrzyżowań zamiejskich. Mniejszy czas tracony jak również jego rozrzut na pasie zewnętrznym (prawym) determinowany jest większymi odstępami między pojazdami  $\bar{t}_{n,s}$  w środkowym przedziale sygnału zielonego na tym pasie w stosunku do pasa wewnętrznego (lewego).

W klasycznym ujęciu strat czasu na zatrzymanie w końcowej części fazy ruchu [6, 5] analizie nie powinny podlegać cykle, w których nastąpiły nieprzepisowe wjazdy na sygnale czerwonym. Zakłada się, że rozwiązanie projektowe powinno eliminować wjazdy na sygnale czerwonym.



Rys. 6. Zależności czasu traconego w końcu fazy ruchu od warunków pogodowych i intensywności opadów deszczu (a) oraz rozległości skrzyżowań (b) dla korzystających z jednego pasa relacji na wprost na skrzyżowaniach miejskich (Kraków)



Rys. 7. Średnie czasy tracone w końcu fazy ruchu dla pasa wewnętrznego i zewnętrznego z relacją na wprost na skrzyżowaniach zamiejskich o średniej rozległości - (liczebność: wewn: 103, zewn: 116)

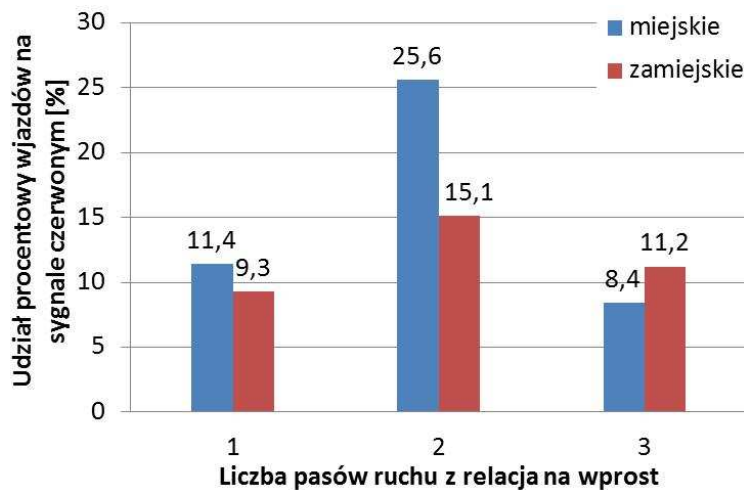
#### 4. NIEBEZPIECZNE WJAZDY NA SYGNALE ŻÓŁTYM I CZERWONYM

Wjazdy pojazdów na sygnale czerwonym po skończeniu fazy ruchu obserwowane są zarówno na skrzyżowaniach miejskich jak i zamiejskich. W prowadzonych analizach udział wjazdów na sygnale czerwonym odniesiono do liczby objętych obserwacjami cykli sygnalizacyjnych. Zestawienie wyników zawiera tablica 1. Największy udział cykli z pojazdami (co najmniej jeden) wjeżdżającymi na skrzyżowanie na sygnale czerwonym zarejestrowano na wlotach skrzyżowań z dwoma pasami prowadzącymi ruch na wprost, 25,6% i 15,1% odpowiednio na skrzyżowaniach miejskich

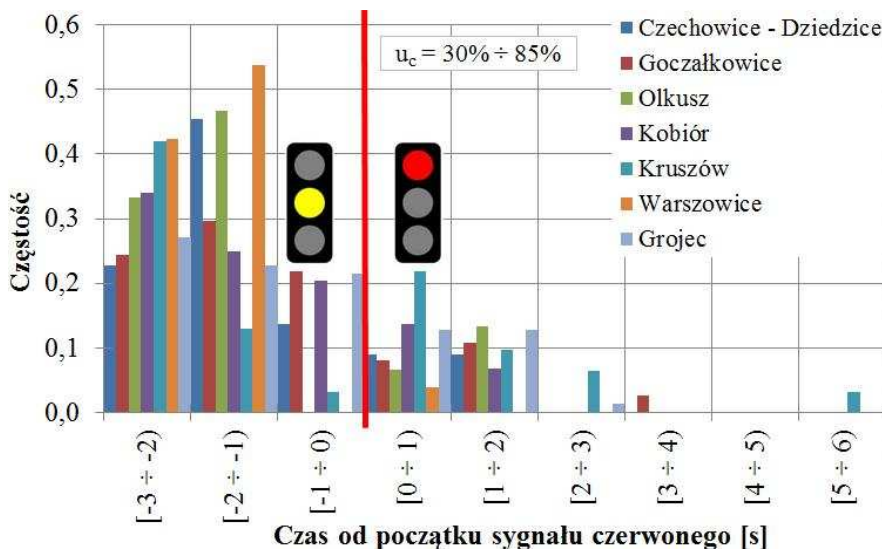
i zamiejskich. Więcej pojazdów niż jeden wjeżdżało na skrzyżowanie w ponad 5% cykli na dwupasowych wlotach skrzyżowań miejskich i w ponad 1% cykli na jednopasowych wlotach skrzyżowań zamiejskich. Średnie czasu wjazdu pojazdów na sygnale czerwonym sięgają prawie dwóch sekund (1,84 s – 1,97 s) na skrzyżowaniach miejskich i to niezależnie od liczby pasów ruchu na wprost. Na skrzyżowaniach zamiejskich niewiele przekraczają jedną sekundę (1,08 s – 1,17 s). Wart podkreślenia jest maksymalny czas wjazdów na sygnale czerwonym, który w warunkach miejskich wynosi ok. 3 s (2,91 s – 3,00 s), a na skrzyżowaniach zamiejskich od 3 s aż do prawie 6 s (3,17 s – 5,80 s). Porównanie graficzne udziału cykli sygnalizacyjnych w okresie obserwacji z niebezpiecznymi wjazdami na skrzyżowanie na sygnale czerwonym po skończeniu fazy ruchu przedstawia rys. 8. Mniejsza częstotliwość takich wjazdów występuje na skrzyżowaniach zamiejskich, lecz niepokojące są przypadki bardzo późnych wjazdów na tych skrzyżowaniach (tab. 1, rys. 9).

Tab.1. Wjazdy na sygnale czerwonym z pasa wewnętrznego relacji na wprost dla poligonów jedno- i wielopasowych zlokalizowanych w mieście (Kraków) i poza miastem z obu szczytów ruchowych w różnych warunkach pogodowych

	Liczba pasów w grupie pasów	Liczba cykli	Ogólna liczba i % wjazdów na syg. czerwonym	Liczba i % wjazdów więcej niż 1 pojazdu (2, 3) na syg. czerwonym	Max $t_{x\text{cz}}$ [s]	Min. $t_{x\text{cz}}$ [s]	Średni $t_{x\text{cz}}$ [s]
Skrzyżowania miejskie	1	8129	926/11,4%	152/1,9%	-2,99	-0,70	-1,84
	2	4791	1229/25,6%	259/5,4%	-3,00	-0,60	-1,89
	3	5688	478/8,4%	31/0,5%	-2,91	-1,06	-1,97
Skrzyżowania zamiejskie	1	323	30/9,28%	4/1,23%	-5,40	-0,20	-1,08
	2	562	85/15,12%	3/0,53%	-5,80	-0,22	-1,17
	3	98	11/11,2%	0/0%	-3,17	-0,20	-1,14



Rys. 8. Udział cykli sygnalizacyjnych z pojazdami wjeżdżającymi na sygnale czerwonym na skrzyżowaniach miejskich i zamiejskich

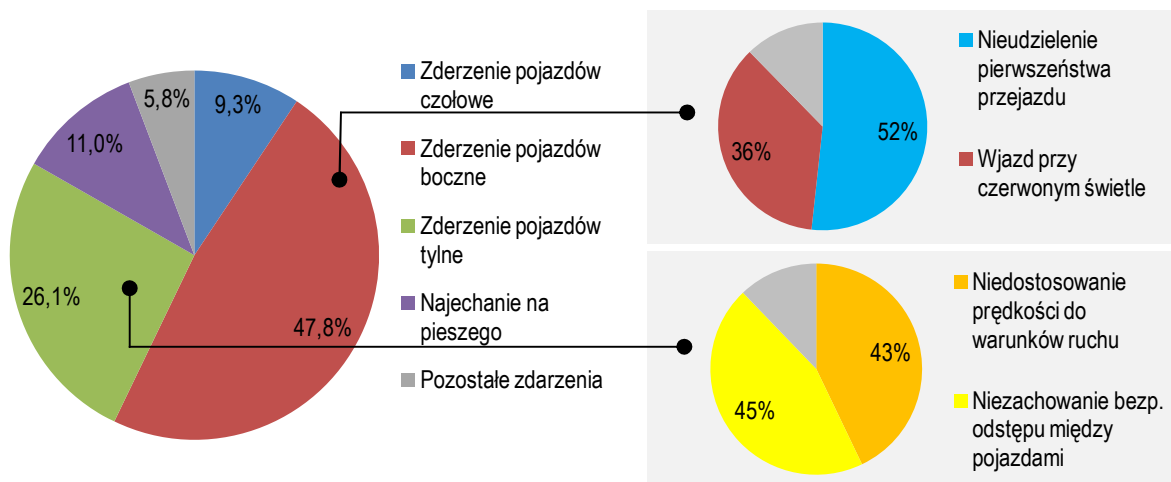


Rys. 9. Częstości wjazdów pojazdów z pasa zewnętrznego na skrzyżowaniach zamiejskich na sygnale żółtym i czerwonym

Najwięcej wjazdów na skrzyżowanie po skończeniu nadawania sygnału zielonego przypada na początkowe dwie sekundy sygnału żółtego. Jak pokazuje rys. 9 również początkowe dwie sekundy sygnału czerwonego wykorzystywane są dość często na wjazd na skrzyżowanie. Pojedyncze przypadki wjazdów na sygnale czerwonym odnoszą się również do kolejnych, aż do 6 sekundy sygnału czerwonego. Związane może to być z tzw. strefą dylematu, która przy prędkości 70 km/h najczęściej dopuszczanej na dojeździe do skrzyżowania z sygnalizacją poza terenem zabudowy i często przekraczanej [1], rozciąga się w odległości od linii zatrzymań od ok. 58 m do ok. 83 m. Podejmowana w tej strefie decyzja o wjeździe na skrzyżowanie w sytuacji zmiany sygnału zielonego na żółty jak również zatrzymania się będzie błędna. Takie decyzje nie tłumaczą jednak, w świetle kinematycznego modelu ruchu na dojeździe do skrzyżowania, wjazdu pojazdu w 6 sekundzie sygnału czerwonego. Jest to zatem efekt ewidentnego naruszenia zasad ruchu przez kierowcę pojazdu.

Nieprzepisowe zachowania uczestników ruchu stwarzają zagrożenie bezpieczeństwa ruchu na skrzyżowaniu. Wjazdy na sygnale czerwonym są w 36 % przyczyną zderzeń bocznych (rys. 10) na skrzyżowaniach. Natomiast tylne zderzenia pojazdów, charakterystyczne dla skrzyżowań z sygnalizacją świetlną, są w znacznej mierze skutkiem niedostosowania prędkości do warunków ruchu lub nie zachowania bezpiecznego odstępu między pojazdami. Zachowania takie mogą prowadzić do zdarzenia drogowego przy hamowaniu pojazdu poprzedzającego w sytuacji zmiany sygnałów świetlnych.

Rodzaj wypadków na skrzyżowaniach zamiejskich:



Rys. 10. Rodzaje wypadków i ich przyczyny na skrzyżowaniach zamiejskich (liczebność próby 470 wypadków) [3]

## 5. PODSUMOWANIE

Badania wjazdu pojazdów na skrzyżowanie przy zmianie sygnałów świetlnych, zwłaszcza na końcu okresu zezwolenia na ruch, przynoszą ważne dane umożliwiające analizę czasu traconego w fazie ruchu jak również pozwalające ocenić zagrożenie bezpieczeństwa ruchu.

Czas tracony w końcowym przedziale fazy ruchu determinowany jest rozległością skrzyżowania, położeniem pasa ruchu na wprost na wlocie jak również warunkami pogodowymi. Czynniki te powinny być zatem uwzględniane przy wyznaczaniu przepustowości wlotów skrzyżowań.

Z badań wynika, że pełne wykorzystywanie sygnału żółtego przez kierujących oraz wjazdy na czerwonym sygnale w okresach szczytów ruchowych występują powszechnie na skrzyżowaniach zwłaszcza w pełni nasyconych ruchem lub przeciążonych. Występowanie wjazdów na sygnale czerwonym może zależeć od prędkości przy dojeździe do skrzyżowania, liczby pasów w grupie, przeciążenia wlotu oraz od warunków pogodowych (widoczności).

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Bąk R., Chodur J.: *Charakterystyki prędkości na zamiejskich skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną*, Drogownictwo nr 2/2012,
- [2] Chodur, J., Ostrowski, K. and Tracz, M.: *Impact of saturation flow changes on performance of traffic lanes at signalized intersections*, Proceedings of the 6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service, Stockholm, Sweden, June 2011, pp. 600 – 611,
- [3] Gondek S., Bąk R.: *Badania wjazdów na sygnale czerwonym na zamiejskich skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną*, Transport miejski i regionalny nr 5/2012,
- [4] Ostrowski K.: *Niezawodność funkcjonowania skrzyżowania z sygnalizacją w warunkach zmiennego natężenia nasyconia*, Praca doktorska, Kraków, Politechnika Krakowska 2010,
- [5] Teplý S.: *Canadian capacity guide for signalized intersections*, The Institute of Transportation Engineers, Canada 2008,
- [6] Webster F.V., Cobbe B.M.: *Traffic signals*, London 1966.