

Propozycja standardów oceny Poziomów Swobody Ruchu pieszych na osygnalizowanych przejściach przez jezdnie

Bogusław Molecki

Artykuł omawia problem oceny Poziomów Swobody Ruchu (PSR) na osygnalizowanych przejściach dla pieszych. Przeanalizowany zostanie obecny sposób oceny, propagowany w literaturze przedmiotu. Następnie, na podstawie analiz i obserwacji odczuć pieszych, zostaną zaproponowane nowe standardy oceny PSR, bardziej adekwatne do spotykanych sytuacji.



dr inż. Bogusław Molecki
Zakład Logistyki i Systemów Transportowych
Politechnika Wroclawska

Problem efektywności sygnalizacji świetlnej na skrzyżowaniach

Podstawowym celem stosowania regulacji świetlnej na skrzyżowaniach jest poprawa ogólnie rozumianych warunków ruchu. Niestety, w praktyce projektowej cel ten bywa wypaczony poprzez sprowadzenie go do poprawy warunków ruchu pojazdów samochodowych kosztem innych uczestników ruchu (zwłaszcza pieszych). Przyjmowane rozwiązania, ułatwiające przemieszczanie się kierowców (zwiększanie przepustowości, koordynacja sygnalizacji świetlnej) nazbyt często wpływają bardzo negatywnie na warunki ruchu pieszych (długie cykle sygnalizacji, brak koordynacji sąsiednich przejść a nawet likwidacje przejść). W rezultacie odnotowuje się duży poziom irytacji tej grupy uczestników ruchu, a co za tym idzie, wysoki odsetek osób wkraczających na przejścia na sygnale zabraniającym (przykładem może być sytuacja na rondzie R. Reagana we Wrocławiu, gdzie na niektórych przejściach ponad 70% pieszych łamie przepisy – por. [6] i [7]).

Takie podejście projektantów – optymalizowanie sygnalizacji świetlnej dla potrzeb pojazdów kosztem pieszych – sankcjonuje w pewien sposób obowiązująca instrukcja projektowania sygnalizacji świetlnej [10]. Warunki budowy lub modernizacji sygnalizacji (p. 1.2. [10]) wskazują, iż projekt organi-

zacji ruchu powinien zawierać m.in. obliczenie przepustowości oraz plany sygnalizacji i wykresy koordynacji, jeżeli projekt dotyczy sygnalizacji skoordynowanej. Nie wymaga się natomiast oceny warunków ruchu pieszych.

Należy jednak podkreślić, że na przestrzeni lat zapisy te ulegają ewolucji. W latach siedemdziesiątych [3] adnotacje dotyczące efektywności sygnalizacji praktycznie w ogóle nie były obecne. Jedyny – znamieny – zapis na ten temat brzmiał: na jezdniach o bardzo dużym natężeniu ruchu pojazdów sygnał zielony (dla pieszych – przyp. aut.) może być nadawany przez krótki okres czasu – minimum 5 sekund – potrzebny w zasadzie na zezwolenie na wejście na jezdnię tym, którzy oczekiwali przed sygnałem czerwonym lub dochodzili już do jezdni. W poprzedniej instrukcji [4] pojawił się zapis dotyczący obliczeń przepustowości, wymagano ich jednak jedynie na żądanie organu zarządzającego ruchem. Obecnie [10] nacisk na analizę przepustowości pojazdów jest zatem większy, brakuje natomiast wyraźne metod oceny warunków ruchu pieszych, zwłaszcza w kontekście wdrażania zrównoważonej polityki transportowej miast (por. [1]).

Literaturowe metody oceny PSR pieszych na osygnalizowanych przejściach przez jezdnie

Ocena PSR pieszych na przejściach z sygnalizacją opisana jest w literaturze krajowej dość ubogo. W podstawowej książce poświęconej inżynierii ruchu drogowego z lat 90 [1] zawarta była jedynie informacja, iż zagadnienie przepustowości osygnalizowanych przejść dla pieszych jest najtrudniejsze do systematycznej analizy, należy uwzględnić limitowaną przepustowość narożnika skrzyżowania i przepustowość przejścia przez jezdnię. Nie proponowano praktycznie ja-

kościowej metody oceny warunków ruchu w tej konkretnej sytuacji. W rozdziale poświęconym projektowaniu sygnalizacji pojawia się co prawda informacja o tym, że jednym z mierników efektywności może być średnia strata czasu pieszych [s/P], ale nie była ona w żaden sposób dokładniej omawiana.

Szersze informacje na ten temat umieszczone zostały dopiero w nowym podręczniku, opracowanym ponad 10 lat później przez nieco zmieniony zespół autorski [2]. Jako miarę warunków ruchu wskazuje się tam średnią stratę czasu pieszego d_p (1), przy czym dodatkowo zwraca się uwagę na poziom natężenia ruchu pieszego (do 5000 os./h, co ciekawe – bez powiązania z rozmiarami przejścia i ewentualnych azyli) oraz interakcje z tranzytowym ruchem pieszych na narożnikach skrzyżowania.

$$d_p = 0,5 \cdot (T - G_p)^2 / T \quad (1)$$

gdzie:

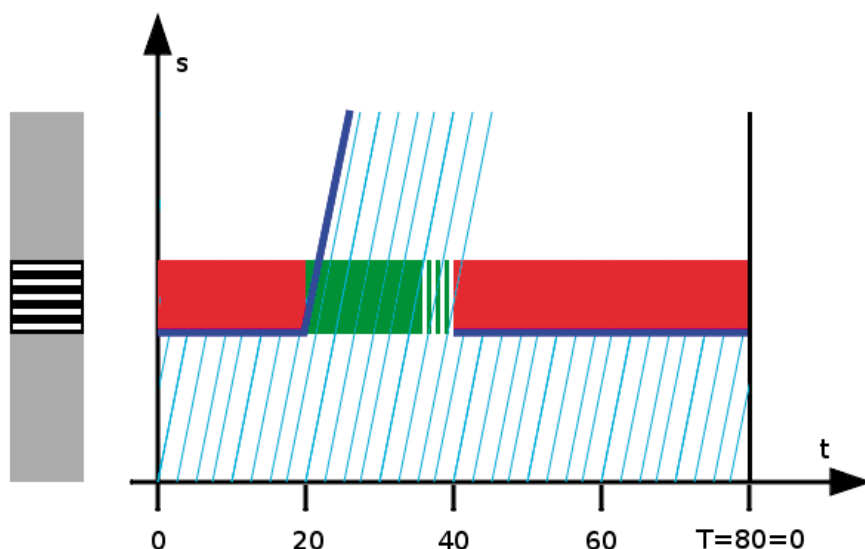
- d_p – strata czasu pieszego [s]
- T – długość cyklu sygnalizacji świetlnej [s]
- G_p – długość sygnału zielonego dla pieszych, powiększona o połowę sygnału zielonego pulsującego [s]

Analiza poprawności przyjętych założeń literaturowego wzoru na straty czasu

Wzór na stratę czasu pieszych, zapisany w formie (1) jest dość nieczytelny i nie oddaje dostatecznie intencji Autorów. Pomocne jest zastosowanie innego zapisu (2), w którym wyraźnie wydziela się dwa czynniki wpływające na średnią wartość strat.

$$d_p = \frac{T - G_p}{2} \cdot \frac{T - G_p}{T} \quad (2)$$

Wartość ta wyliczana jest na podstawie średniej długości strat przy zatrzymaniu



1. Analiza sytuacji na pojedynczym osygnalizowanym przejściu, przy równomiernym strumieniu zgłoszeń i cyklicznej pracy sygnalizacji. Rys. B. Molecki.

(pierwszy człon) i prawdopodobieństwa ich wystąpienia (drugi człon). Charakterystyczne jest, że w obu przypadkach zakłada się równomierny strumień zgłoszeń. Sytuację taką ilustruje rysunek 1.

Dla przykładu – przy długości cyklu sygnalizacji T wynoszącym 80 sekund i zezwoleniu na wejście G_{ep} trwającym sekund 20, straty pieszego przy zatrzymaniu wynoszą od 0 do 60 sekund (średnio 30), a prawdopodobieństwo zatrzymania jest 60:80 czyli 0,75. Wyliczona średnia wartość strat wynosi zatem 22,5 s.

Powyższy wzór – choć intuicyjny i prosty w stosowaniu, budzi wątpliwości. Pierwsze zastrzeżenie wywołuje kwestia przyjmowanej długości sygnału zielonego. Definicja długość sygnału zielonego dla pieszych, powiększona o połowę sygnału zielonego pulsującego może być interpretowana dwójako:

- długość sygnału zielonego (ciągłego) dla pieszych, powiększona o połowę sygnału zielonego pulsującego;
- długość sygnału zielonego (ciągłego i pulsującego – sumarycznie) dla pieszych, powiększona o połowę sygnału zielonego pulsującego.

Co znamienne, obie możliwości są trudno akceptowalne: rozporządzenie o znakach i sygnałach zezwala pieszym wkraczać na przejście do końca sygnału pulsującego. Jedyna uwaga odróżniająca ten sygnał od ciągłego dotyczy ewakuacji: sygnał zielony – zezwolenie na wejście na przejście dla pieszych, przy czym sygnał zielony migający oznacza, że za chwilę zapali się sygnał czerwony i pieszy jest obowiązany jak najszybciej opuścić przejście [9]. W związku z tym (por. rys. 1) trudno znaleźć uzasadnienie dla przyjmowania wartości G_{ep} innej niż sumaryczna długość sygnału zielonego ciągłego

i pulsującego.

Drugie zastrzeżenie rodzi dużo poważniejsze wątpliwości – nie zawsze bowiem można założyć, że proces zgłoszeń pieszych jest równomierny, a przejście można analizować jako odosobnione. Sposób wyliczenia średniej wartości strat musi zatem ulec zmianie – co zostanie omówione w dalszej części tekstu.

Straty czasu na przejściach sąsiadujących

W przypadku gdy ciąg pieszy przecina ulicę dwujezdniową, analizie podlega nie jedno, lecz dwa przejścia (ruch pieszy może być wstrzymywany w obrębie wyspy dzielącej). W takiej sytuacji nie można już zakładać, że strumień zgłoszeń jest równomierny. O ile bowiem to założenie może znajdować uzasadnienie na pierwszym przejściu, o tyle moment dojścia do drugiego nie jest dowolny – determinowany jest bowiem funkcjonującym programem sygnalizacji (rys. 2).

Rozdźwięk pomiędzy wartościami wyliczanymi z przytaczanego wzoru, a występującymi w praktyce, łatwo pokazać na przykładach. W przypadku dwóch kolejnych przejść o wspomnianych wyżej parametrach ($T=80$ s, $G_{ep}=20$ s) sumaryczne straty czasu wynoszą teoretycznie 45 sekund. W praktyce tymczasem mogą one wahać się od 22,5 sekundy (przejścia zsynchronizowane, rys. 3)

$$d_p' = \frac{T - G_{p1}}{T} \cdot d_f + \frac{G_{p1}}{T} \cdot \frac{d_f + (d_f - G_{p1})}{2} \quad (3) \quad \text{dla} \quad d_f \geq G_{p1}$$

$$d_p' = \frac{T - G_{p1}}{T} \cdot d_f + \frac{d_f}{T} \cdot \frac{d_f}{2} \quad (4) \quad \text{dla} \quad d_f < G_{p1} \quad \text{i} \quad d_f + G_{p2} \geq G_{p1}$$

$$d_p' = \frac{T - G_{p1}}{T} \cdot d_f + \frac{d_f}{T} \cdot \frac{d_f}{2} + \frac{G_{p1} - (d_f + G_{p2})}{T} \cdot \frac{(T - G_{p2}) + (T - G_{p1} + d_f)}{2} \quad (5) \quad \text{dla} \quad d_f + G_{p2} < G_{p1}$$

do 80 sekund (przejścia rozsynchronizowane, rys. 4).

Należy w tym miejscu podkreślić, że wspomniane straty nie prowadzą się również do wartości teoretycznej przy uśrednieniu obu kierunków ruchu. Zaproponowana w literaturze [2] metoda nie powinna być zatem stosowana do analizy warunków ruchu na przejściach, na których strumień zgłoszeń nie jest równomierny: poprzedzonych innymi przejściami dla pieszych, bądź takimi, na których strumień zgłoszeń jest w inny sposób zależny od funkcjonowania sygnalizacji świetlnej (np. strumień pasażerów opuszczających tramwaj na przystanku za osygnalizowanym skrzyżowaniem).

Proponowana metoda określania strat pieszych

Na podstawie analizy sytuacji występujących na skrzyżowaniach, w odniesieniu do ruchu strumieni pieszych, zaproponować można metodę oceny strat opierającą się na następujących założeniach upraszczających:

- strumień pieszych poruszających się między skrzyżowaniami charakteryzuje się równomiernością zgłoszeń (na dłuższych odcinkach różnice pomiędzy prędkościami poszczególnych osób w strumieniu są znaczne, więc domyślnie można zakładać brak wpływu poprzedniej sygnalizacji na momenty zgłoszeń);
- strumień pieszych poruszających się w obrębie skrzyżowania charakteryzuje się wyrównaną prędkością (długości przejść przez jezdnie są na tyle krótkie, że różnice w czasie ich pokonywania przez poszczególne osoby można zaniedbać – zasadne będzie zatem przyjęcie jednej, uśrednionej prędkości pieszego na skrzyżowaniu).

Przy tych założeniach, wzór na straty czasu na drugim przejściu (na którym strumień zgłoszeń zależy od poprzedniego) ma postać (3), (4) lub (5) [8], zależnie od wzajemnej synchronizacji przejść (odpowiednio – rys. 5a, b i c): gdzie:

d_p' – strata czasu pieszego z uwzględnieniem działania sygnalizacji na przejściu poprzedzającym [s]

G_{ep1}, G_{ep2} – długość sygnału zielonego dla pieszych na 1 i 2 przejściu [s]

d_f – czas oczekiwania na sygnał zielony na przejściu drugim przy przejściu na początku otwarcia przejścia pierwszego [s]

Zamieszczone wykresy ruchu pieszych pokazują, jak dużą rolę mogą pełnić w określaniu strat metody graficzne. W przypadku przejść potrójnych (np. jezdnia – torowisko – jezdnia), czy jeszcze bardziej zwielokrotnionych (np. prawoskręt – jezdnia – torowisko – jezdnia – prawoskręt), powszechnie występujących w największych miastach, oparcie jedynie o zapis matematyczny prowadzić może do trudnych do wykrycia pomyłek. Wykresy ruchu natomiast umożliwiają natychmiastową ocenę sytuacji na przejściach i mogą być z powodzeniem stosowane do analizy zachowań pieszych (por. [7]).

Wartość strat a Poziom Swobody Ruchu

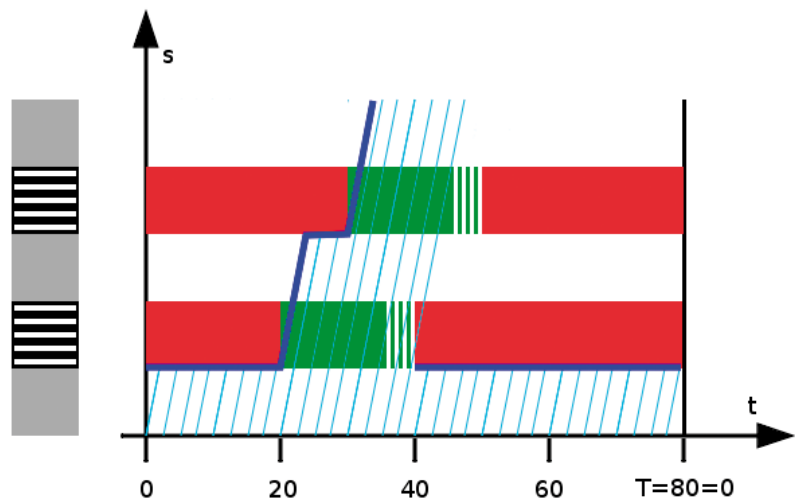
W przypadku pojazdów, Poziom Swobody Ruchu na skrzyżowaniu określa się wprost na podstawie średniej wartości strat czasu przy pokonywaniu skrzyżowania. Biorąc pod uwagę brak podstaw dla różnicowania wartości czasu pieszego i kierowcy, zaproponować należy bezpośrednie przeniesienie do oceny warunków ruchu pieszych wartości granicznych przyjmowanych w odniesieniu do kierowców. Krajowa literatura [2] przytacza w tym zakresie graniczne wartości polskie, niemieckie i amerykańskie. We wszystkich przypadkach uznaje się, że straty poniżej 15 sekund charakteryzują rozwiązania bardzo dobre, a powyżej 50 sekund – niekorzystne.

Proponowane wartości ujęto w tabeli 1. Odniesiono się w niej do skali amerykańskiej (A-F) miast polskiej (I-IV), ponieważ podejście amerykańskie odpowiada obecnej polskiej skali szkolnej, której nazwy stopni są dla polskiego użytkownika intuicyjne.

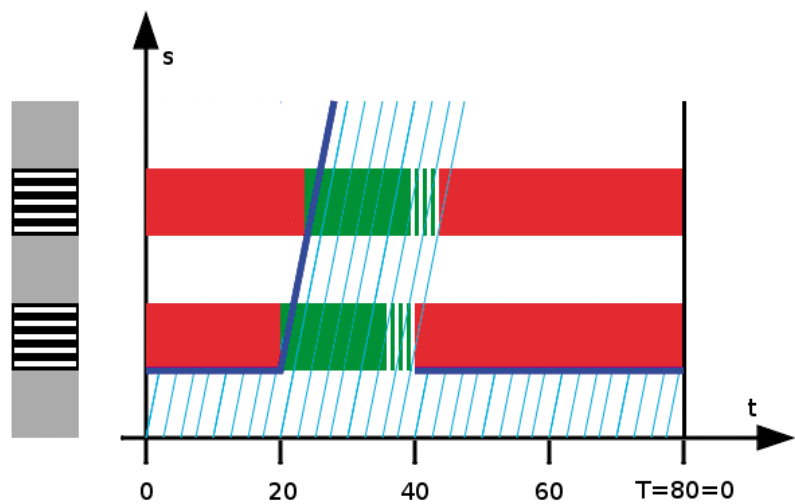
Zdyscyplinowanie pieszych a Poziom Swobody Ruchu

Należy pamiętać, że spośród różnych uczestników ruchu właśnie pieszym najłatwiej przychodzi zachowania niezgodne z przyjętymi zasadami. Z tego względu sygnalizacja świetlna powinna ostrzegać pieszych przed faktycznym, a nie – potencjalnym niebezpieczeństwem. Na osygnalizowanych przejściach dla pieszych przez stosunkowo mało obciążone pasy autobusowe lub tramwajowe w centrum Wrocławia odnotowuje się nawet 70% wejść na przejścia na sygnale zabraniającym [5], [6]. Oczywiście staje się, że jeżeli sygnalizacja ma nie ulec deprecjacji, a piesi mają stosować się do jej wskazań, powinna ona odpowiadać bieżącej sytuacji ruchowej, a nie – wstrzymywać ruch pieszych przez kilkadziesiąt sekund pomimo braku pojazdów strumienia kolizyjnego.

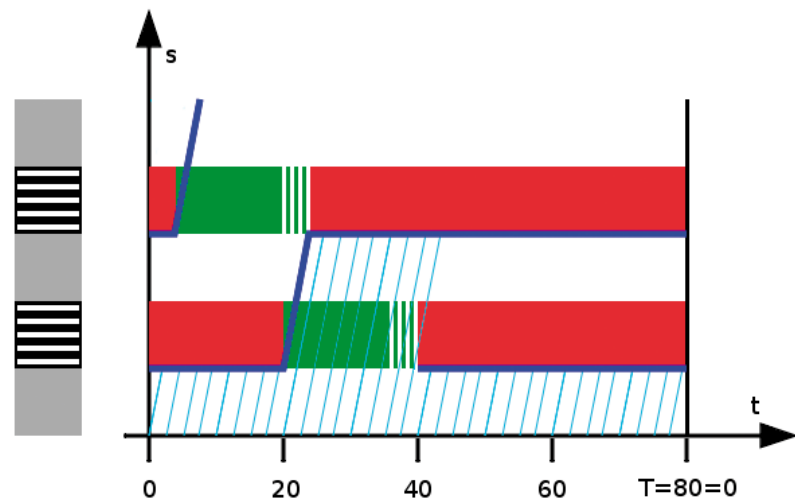
W związku z tym można rozważyć wprowadzenie dodatkowego wskaźnika – odczuwanego czasu traconego [8], czyli czasu, w trakcie którego pieszy oczekuje przed sygnałem zabraniającym, a nie widzi ruchu poprzecznego (istotne zwłaszcza na rozległych skrzyżowaniach).



2. Przykład rozkładu zgłoszeń na przejściach dla pieszych przez dwie kolejne jezdnie. Rys. B. Molecki.



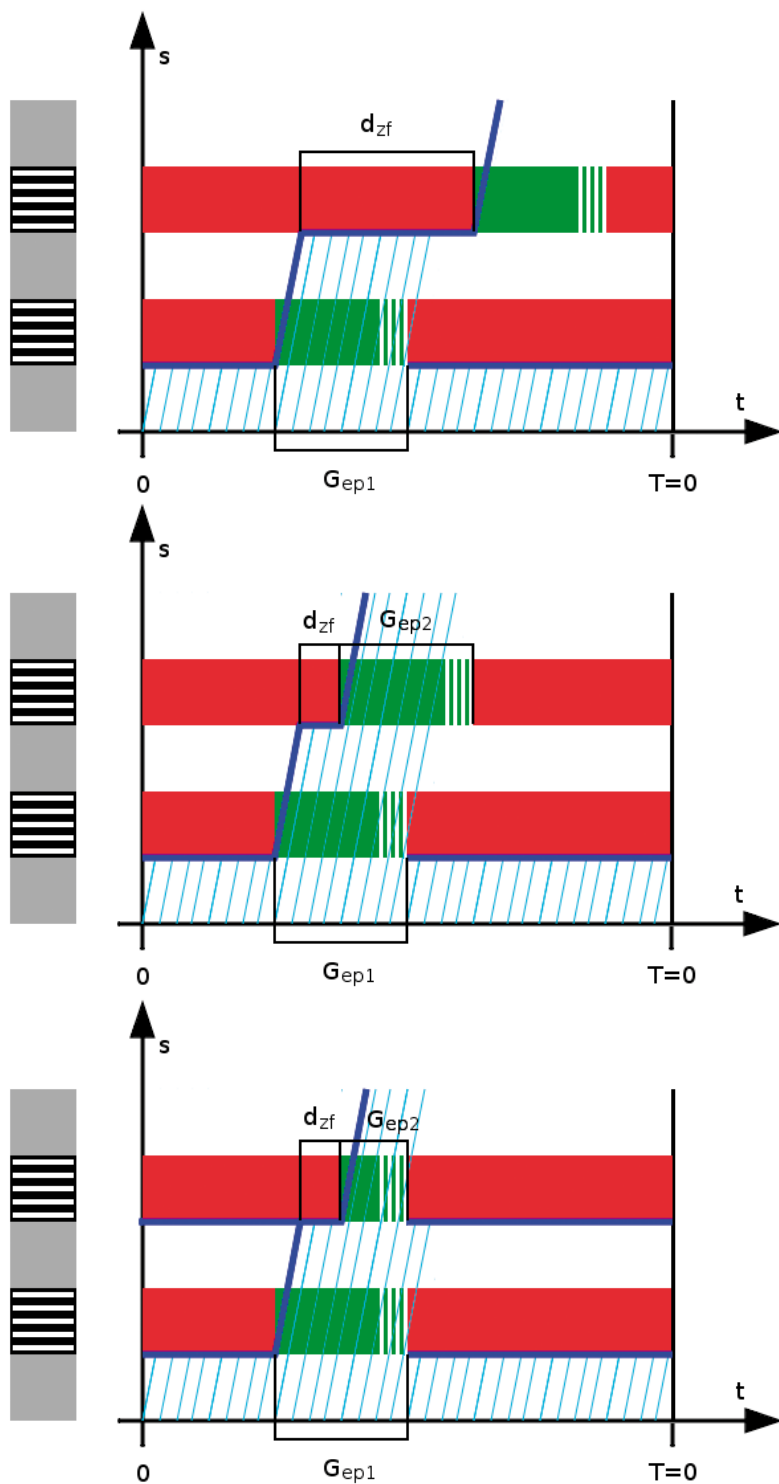
3. Ruch pieszych na przejściach zsynchronizowanych – średni czas oczekiwania na pierwszym przejściu wynosi 22,5 s, na drugim oczekiwania nie występuje (tzw. zielona fala). Rys. B. Molecki



4. Ruch pieszych na przejściach rozszynchronizowanych – średni czas oczekiwania na pierwszym przejściu wynosi 22,5 s, a na drugim - 57,5 s (75% pieszych czeka pełne 60 s, 25% pieszych – mniej: od 40 do 60 s). Rys. B. Molecki.

Wartości graniczne odczuwanego czasu traconego winny być określone dla konkretnego miasta – i jedynie dla PSR E oraz F. Wartość wskazująca na osiągnięcie PSR E powinna być

związana z 15% udziałem zachowań pieszych niezgodnych z prawem (wartość odczuwanego czasu traconego, przy którym piesi zaczynają masowo łamać przepisy). Wartość dla PSR



5. Straty na drugim przejściu dla pieszych, zależnie od synchronizacji z przejściem poprzedzającym: **a** – przejścia niesynchronizowane, **b** – przejście otwierane zbyt późno, **c** – przejście otwierane zbyt późno i zbyt krótko. Rys. B. Molecki.

F natomiast powinna odpowiadać stratom, przy których zjawisko to staje się dominującym (50% zachowań niezgodnych z prawem).

Podsumowanie

W artykule zaprezentowana została propozycja ujęcia jakościowej miary warunków ruchu pieszych jako obowiązkowego elementu projektu organizacji ruchu na skrzyżowaniu. Obecnie wymagana jest jedynie ocena przepustowości dla pojazdów, a to w prosty sposób prowadzi do ograniczania swobód pieszych nawet na

obszarze centrum, w obrębie którego ten rodzaj przemieszczeń powinien być preferowany (znajduje to poparcie w uchwalanych miejskich politykach transportowych).

Zaznaczyć należy ponadto, że adaptowanie krajowych kryteriów stosowanych do oceny warunków ruchu pojazdów dla potrzeb oceny ruchu pieszych (miast np. analizy dedykowanych pieszym rozwiązań zagranicznych) zostało wprowadzone celowo, by podkreślić konieczność bardziej sprawiedliwego traktowania pieszych jako uczestników ruchu miejskiego. ◀

Tab.1. Graniczne wartości strat czasu na skrzyżowaniu dla poszczególnych Poziomów Swobody Ruchu wg HCM (za: [2]).

Poziom Swobody Ruchu	Straty czasu [s]
A (celujący)	≤ 10
B (bardzo dobry)	(10,15]
C (dobry)	(15,25]
D (dostateczny)	(25,35]
E (mierny)	(35,50]
F (niedostateczny)	> 50

Uwaga: nazwa mierny została zastąpiona w edukacji określeniem dopuszczający; w analizach inżynierskich warto jednak ten poziom swobody nazywać zgodnie z prawdziwymi odczuciami oceniających (tu: uczestników ruchu).

Materiały źródłowe

- [1] Datka S., Suchorzewski W., Tracz M.: Inżynieria ruchu. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1997.
- [2] Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M.: Inżynieria ruchu drogowego. Teoria i praktyka. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2008.
- [3] Instrukcja o znakach i sygnałach na drogach. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1975. Monitor Polski nr 42 z 1974 r., poz. 264.
- [4] Instrukcja o drogowej sygnalizacji świetlnej. Zasady stosowania, konstrukcja i wzory barwne sygnałów. Monitor Polski nr 16 z 1994 r. poz. 120 zał. 3.
- [5] Makuch J.: Sterowanie ruchem pieszym w aspekcie priorytetu dla komunikacji zbiorowej, Sterowanie ruchem w miejskiej komunikacji zbiorowej (mat. konf.). SITK Kraków, Zakopane 1998.
- [6] Molecki B.: Analiza ruchu pieszego w obrębie węzłów przesiadkowych na przykładzie placu Grunwaldzkiego we Wrocławiu, w: Przegląd Komunikacyjny nr 4-6/2010.
- [7] Molecki B., Skupień E.: Zachowania pieszych w obrębie dużych skrzyżowań z sygnalizacją świetlną na przykładzie placu Grunwaldzkiego we Wrocławiu, w: Transport Miejski i Regionalny nr 6/2010.
- [8] Molecki B.: Ocena Poziomu Swobody Ruchu na przejściach dla pieszych. VII Konferencja Naukowo-Techniczna Systemy Transportowe – teoria i praktyka. Katowice 2010 (mat. dotychczas niepubl.).
- [9] Rozporządzenie Ministrów Infrastruktury oraz Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 31 lipca 2002 r. w sprawie znaków i sygnałów drogowych. Dziennik Ustaw nr 170 z 2002 r. poz. 1393 (z późn. zm.).
- [10] Szczegółowe warunki techniczne dla sygnałów drogowych i warunki ich umieszczenia na drogach. Dziennik Ustaw nr 220 z 2003 r. poz. 2181 zał. 3 (z późn. zm.).