

DYLEMATY STOSOWANIA ZIEŁONEJ STRZAŁKI¹

BAK RADOŚLAW

mgr inż., Politechnika Krakowska,
Katedra Budowy Dróg i Inżynierii
Ruchu, ul. Warszawska 24,
31-155 Kraków,
tel. +48 12 628-25-21,
e-mail: rbak@pk.edu.pl

Streszczenie. Artykuł omawia problem stosowania sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką (sygnału S-2). Aktualizacja przepisów wykonawczych dotyczących sygnalizacji świetlnej z 2008 roku dopuściła ponownie możliwość stosowania kolizyjnych w czasie sygnałów skrętu warunkowego. W skutek zmian przepisów, na podobnych skrzyżowaniach z sygnalizacją, sygnał S-2 może dopuszczać ruch relacji skrętnej jako bezkolizyjny, częściowo bezkolizyjny lub kolizyjny. Jednocześnie dotąd nie oszacowano, jaki wpływ na zachowania kierujących i bezpieczeństwo ma stosowanie takiego, nie zawsze jednoznacznego rozwiązania. Jako tło do opisu poruszanego problemu przedstawiono zasady stosowania odpowiedników sygnału S-2 w innych krajach (USA, Niemcy, Francja). W drugiej części artykułu zaprezentowano wyniki wstępnych badań zachowań kierujących wjeżdżających na skrzyżowanie podczas nadawania sygnału dopuszczającego skręt w kierunku wskazanym strzałką. Wyniki badań wskazują na niską skłonność kierujących do korzystania z zielonej strzałki w sposób przepisowy. Ponadto część wjazdów wykonywana jest w trakcie sygnału zabraniającego. Na podstawie literatury zagranicznej oraz wstępnych wyników badań zaproponowano kryteria wykluczające i opcjonalne, mające na celu wspomaganie podjęcia decyzji o stosowaniu sygnałów S-2 umożliwiających kolizyjny przejazd przez skrzyżowanie relacji skrętu w prawo.

Słowa kluczowe: inżynieria ruchu, skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną, sterowanie ruchem, zielona strzałka, bezpieczeństwo ruchu

Wprowadzenie

Sygnalizacja świetlna na skrzyżowaniu stanowi jeden z najbardziej popularnych środków organizacji ruchu. Segregacja kolizyjnych potoków ruchu w czasie sprzyja poprawie bezpieczeństwa, ale nie zawsze zapewnia bezkolizyjną obsługę wszystkich strumieni ruchu. W kraju w dalszym ciągu dyskutowana jest zarówno potrzeba, jak i charakter stosowania *sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką*². Temat ten wykracza poza środowisko inżynierów ruchu, a pojawiające się informacje prasowe dotyczące zmian w regulacjach związanych z zieloną strzałką mają zwykle szeroki oddźwięk społeczny. Zastosowanie sygnalizatorów S-2 jest pożądane głównie przez kierujących pojazdami, ze względu na poprawę warunków ruchu relacji skrętu w prawo. Jako podstawową wadę sygnałów S-2 o kolizyjnym przebiegu wymienia się pogorszenie bezpieczeństwa ruchu, przede wszystkim

pieszych i rowerzystów [1]. Nie bez znaczenia pozostaje niestosowanie się kierujących do wymogu zatrzymania przed sygnalizatorem wyświetlającym zieloną strzałkę. Wątpliwości odnośnie zasadności stosowania zielonej strzałki wśród „praktyków” pogłębia brak analiz wraz z ilościowym opisem poziomu zagrożenia bezpieczeństwa ruchu związanego ze stosowaniem sygnalizatorów S-2. Zagrożenie bezpieczeństwa ruchu może być związane z niewłaściwym i niezgodnym z przepisami ruchu drogowego korzystaniem z sygnału dopuszczającego skręt w kierunku wskazanym strzałką. Wpływ na zachowania kierujących oraz bezpieczeństwo może mieć zmieniający się kilkukrotnie w ostatnich latach status zielonej strzałki. Stąd konieczność podejmowania przedmiotowych analiz, których elementy wykonane przez autora przedstawiono poniżej.

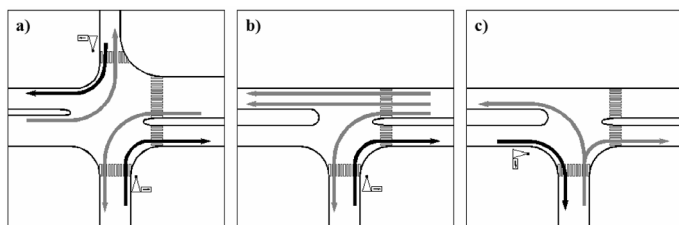
Sygnał S-2 w przepisach krajowych

Jednokomorowy sygnalizator S-2 w postaci zielonej strzałki został po raz pierwszy zdefiniowany w Rozporządzeniu Ministrów Komunikacji i Spraw Wewnętrznych z dnia 9 sierpnia 1983 roku w sprawie znaków i sygnałów drogowych. Sygnał ten zezwalał na wykonanie manewru skrętu w kierunku wskazanym strzałką po ustąpieniu pierwszeństwa innym uczestnikom mającym zezwolenie na ruch w danym momencie. Zasada ta korespondowała ze stosowaną w niektórych krajach dopuszczalnością wykonania skrętu w prawo podczas nadawania sygnału czerwonego, lecz bez wyświetlania specjalnego sygnału zezwalającego (tzw. RTOR – *right turn on red*) [2]. Obowiązująca do dziś konieczność zatrzymania się przed sygnalizatorem została wprowadzona dopiero w 1999 roku i utrzymana w kolejnym rozporządzeniu z 2002 (modyfikacje przepisów i nazewnictwa związanego z zieloną strzałką dokładniej omawia [3]). Największe zmiany dotyczące stosowania sygnalizatora S-2 wprowadziły w 2003 przepisy wykonawcze dotyczące m.in. sygnalizacji świetlnej [4]. Rozporządzenie to nakazywało projektowania sygnału S-2 wyłącznie jako bezkolizyjnego, na podobnej zasadzie jak sygnału kierunkowego S-3. Nowe wymagania istotnie ograniczyły zakres stosowania sygnałów S-2. Na skrzyżowaniach o typowej geometrii i układach faz nadanie sygnału dopuszczającego skręt w kierunku wskazanym strzałką prowadzono niemal wyłącznie „w cieniu” relacji skrętu z prostopadłych wlotów (rys. 1).

W przypadku skrzyżowań funkcjonujących w oparciu o starsze przepisy przewidziano przejściowy okres dostosowania

¹ © Transport Miejski i Regionalny, 2013.

² W dalszej części artykułu stosowano zamiennie nazwę sygnał S-2 oraz zielona strzałka na sygnał dopuszczający skręt w kierunku wskazanym strzałką, wprowadzając niepoprawnych z uwagi na obowiązującą terminologię, ale zdecydowanie krótszych w użyciu.



Rys. 1. Typowe fazy ruchu umożliwiające bezkolizyjną obsługę relacji skrętu w prawo

wawczy, który upływał z końcem 2008 roku. W efekcie, od roku 2003 rozpoczął się proces różnicowania sposobu obsługi pojazdów w czasie wyświetlania zielonej strzałki. Na nowo powstałych i modernizowanych skrzyżowaniach sygnał S-2 zapewniał bezkolizyjny przebieg, natomiast na starszych skrzyżowaniach dopuszczona była kolizja z innymi uczestnikami ruchu. W końcu 2008 roku aktualizacja Rozporządzenia [4] zlikwidowała wymóg zapewnienia bezkolizyjnej obsługi pojazdów podczas nadawania sygnału S-2, przywracając zasady projektowe zbliżone do stanu prawnego sprzed 2003 roku. W części zarządów dróg podjęto decyzję o przywróceniu kolizyjnej obsługi pojazdów z wykorzystaniem sygnału warunkowego skrętu, a w niektórych utrzymano zasadę stosowania wyłącznie bezkolizyjnych sygnałów S-2 (głównie na drogach krajowych). W rezultacie na skrzyżowaniach o podobnych cechach geometrycznych, charakterystykach ruchu itp., sygnał S-2 może być stosowany w różny sposób (bądź wcale). Co więcej, ten sam sygnał S-2 w pewnym momencie cyklu może wymagać ustąpienia pierwszeństwa pojazdom i pieszym, by później umożliwić bezkolizyjny przejazd. Obowiązujące przepisy nie precyzują kryteriów stosowania sygnalizatorów S-2 i dopuszczalności kolizji (z wyjątkiem kilku zapisów wykluczających), pozostawiając decyzję projektantowi sygnalizacji. Brak konsekwencji w przepisach prawnych pogłębił problem stosowania sygnału S-2 w oparciu o różne zalecenia i wytyczne.

Sygnał zielony dopuszczający skręt w kierunku wskazanym strzałką projektowany jako bezkolizyjny spełnia zwykle wymagania czasów międzyzielonych (zielona strzałka stanowi oddzielną grupę sygnałową). Wówczas sygnał wygasza się odpowiednio wcześniej, aby umożliwić ewakuację pojazdów poza punkt kolizji. Wyjątkiem od tej zasady jest sytuacja, gdy w kolejnej fazie pozwolenie na ruch ma nadal strumień relacji skrętu, ale obsługiwany już na zasadach ogólnych (sygnalizator S-1). Istotnym czynnikiem determinującym ramy stosowania sygnału S-2, jest zapis Rozporządzenia [4] wymagający dotarcia do punktu kolizji pojazdom relacji nadrzędnej przed strumieniem pojazdów podporządkowanych (w tym przypadku korzystających z zielonej strzałki). Wymóg ten w praktyce oznacza:

- brak możliwości przyznania sygnału S-2 zaraz po zakończeniu nadawania sygnału zielonego ogólnego, jeśli dopuszcza się kolizję z pojazdami z wlotu bocznego;
- konieczność przyznania sygnału S-2 nie wcześniej niż po otwarciu przejścia/przejazdu dla rowerów kolizyjnego z relacją skrętu w prawo na wlocie;

- wykluczenie ciągłości sygnału S-2 w sekwencji faz, w której skręt w prawo zezwolony przez sygnalizator S-2 byłby bezkolizyjny, a następnie kolizyjny.

Przepisy nie precyzują, w jaki sposób należy sprawdzić warunek dojazdu do punktu kolizji przed relacją nadrzędną, toteż w poszczególnych zarządach opiniujących projekty sygnalizacji opóźnienie przyznania sygnału S-2 może być różne. Przykładowo, w niektórych miastach standardem jest włączenie zielonej strzałki 2 sekundy po otwarciu przejścia i wygaszenie jej razem z końcem sygnału zielonego migającego dla pieszych, natomiast w Krakowie sygnał S-2 opóźnia się o 1 sekundę w stosunku do otwarcia przejścia i utrzymuje do 2 sekund przed rozpoczęciem nadawania sygnału zielonego ogólnego (jeśli nie zachodzi warunek wynikający z czasów międzyzielonych). Na niektórych skrzyżowaniach warunek momentu dojazdu do punktu kolizji pojazdów nadrzędnych i podporządkowanych jest zupełnie pomijany.

Zielona strzałka w praktyce innych krajów

O ile kilkukrotnie zmiany przepisów w Polsce doprowadziły do wypracowania dość specyficznej formy stosowania sygnału S-2, o tyle za granicą wykorzystuje się odpowiadające jej środki techniczne i prawne do umożliwienia przejazdu przez skrzyżowanie wybranym pojazdom, mimo wyświetlania sygnału czerwonego na wlocie skrzyżowania. Większość rozwiązań umożliwiających wjazd na skrzyżowanie podczas sygnału czerwonego dotyczy relacji w prawo (Niemcy, USA) lub zwolnienia z konieczności respektowania sygnału czerwonego wybranych użytkowników, np. rowerzystów (Francja, Holandia).

W Stanach Zjednoczonych możliwość zjazdu relacji skrętu w prawo w czasie nadawania sygnału czerwonego (*RTOR*) została powszechnie wprowadzona w latach 70. XX wieku [2]. Strategia ta została zastosowana po raz pierwszy w Kalifornii już w 1937 i pozwalała pojazdom, przy sygnalizacji nadającej sygnał czerwony, wykonać relację skrętu w prawo (po całkowitym zatrzymaniu przed linią zatrzymań), kiedy droga przejazdu była wolna od pojazdów i pieszych posiadających pierwszeństwo przejazdu/przejścia przed tą relacją. Od lat 70. XX wieku, kiedy to *RTOR* uprawomocniono w innych stanach USA, został zastosowany na ponad 80% skrzyżowań (obecnie wyjątek stanowi Nowy Jork). Z *RTOR*, zgodnie z przepisami federalnymi, zwykle nie mogą korzystać autobusy szkolne i pojazdy przewożące ładunki niebezpieczne. Na podobnych zasadach możliwość skrętu w prawo podczas sygnału czerwonego jest powszechnie stosowana w Kanadzie (poza Montreal).

W Niemczech możliwość skrętu podczas sygnału czerwonego sygnalizowana jest w postaci znaku zielonej strzałki umieszczonej na wysokości komory sygnału czerwonego ogólnego. Rozwiązanie to było stosowane w NRD od 1978 roku. Po zjednoczeniu Niemiec w ramach ujednoczenia przepisów w całym kraju, do końca 1991 roku planowano wyeliminować z dróg znak zielonej strzałki. Wskutek du-

żego oporu społecznego okres przejściowy ostatecznie wydłużono do 1996 roku. Przeprowadzone w tym czasie przez Federalny Instytut Drogownictwa (BASt) analizy zagrożenia brd na skrzyżowaniach z funkcjonującą zieloną strzałką pozwoliły na dalsze jej stosowanie jako rozwiązania względnie bezpiecznego. W aktualizacji przepisów w 1994 roku umożliwiono projektowanie strzałki na terenie całych Niemiec (zmiany przepisów omawia dokładniej [5]). Wśród projektantów z zachodniej części Niemiec istnieje nadal opór przed wykorzystywaniem znaku zielonej strzałki jako środka organizacji ruchu. Jej stosowanie podlega także istotnym ograniczeniom [6, 7]. Podobnie jak w Polsce, manewr skrętu musi być poprzedzony zatrzymaniem przed sygnalizatorem i ustąpieniem pierwszeństwa pozostałym uczestnikom ruchu. Mimo to około 70% kierujących pojazdami nie zatrzymuje się całkowicie przy przejeździe przez skrzyżowanie [7].

Rozwiązania stosowane we Francji są prawdopodobnie najbardziej zbliżone do obecnych rozwiązań w Polsce. Aby umożliwić pojazdom skręt w prawo podczas sygnału czerwonego, stosuje się sygnał R16 (rys. 2) [8]. W celu podkreślenia podporządkowania i warunkowej możliwości przejazdu, wyświetlany sygnał ma postać żółtej, migającej strzałki, umieszczonej na wysokości komory sygnału zielonego sygnalizatora podstawowego. Stosowanie sygnału podlega ograniczeniom formalnym – wykluczona jest np. kolizja z pieszymi i rowerzystami na prostopadłym do wlotu przejściu, co często pozbawia sensu instalacji komory sygnału R16. Akcentowany jest również wymóg przyznania sygnału tak, aby wykluczyć możliwość dojazdu do punktu kolizji pojazdu skręcającego w prawo przed relacją nadrzędną. Sygnał przejazdu warunkowego może dotyczyć również innych relacji (w tym relacji na wprost) lub wybranych grup (tylko autobusów – śluza, rowerzystów).

Na Litwie proces wdrożenia zielonej strzałki wzorem rozwiązań niemieckich przeprowadzono w latach 2009–2010, instalując specjalne tabliczki na 132 skrzyżowaniach w Wilnie i Kownie [9]. Znak zielonej strzałki miał być alternatywą w stosunku do wydzielania dodatkowych pasów ruchu do skrętu w prawo.

Zielone strzałki są również wykorzystywane w Republice Czeskiej w postaci sygnałów świetlnych umieszczanych na prawo od sygnału czerwonego ogólnego [10]. Kształt strzałki jest identyczny jak w przypadku sygnałów kierunkowych. Sygnał może być nadawany z sygnałem ogólnym (czerwonym, ale i żółtym lub żółto-czerwonym), przy czym, podobnie jak we Francji, niedopuszczalna jest kolizja z pieszymi na przejściu prostopadłym do wlotu. Czeski kodeks drogowy nie wymaga od kierowcy zatrzymania się przed sygnalizatorem z zieloną strzałką.

Przykładowe rozwiązania odpowiednika sygnalizatora S-2 z innych krajów przedstawia rysunek 2. Sygnalizator w postaci zielonej strzałki umieszczonej na wysokości komory sygnału zielonego nie jest spotykany za granicą. Takie rozwiązanie korespondowało z zasadą bezkolizyjnej obsługi pojazdów skręcających wymaganej przez [4]. Po przywró-

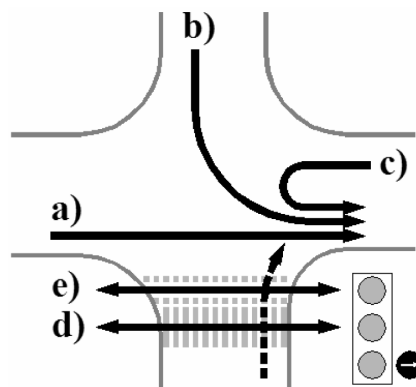
Polska	Francja	Czechy	Niemcy
Sygnal S-2 (zielony ciągły)	Sygnal R16td (żółty migający)	Sygnal S 5 (zielony ciągły)	Znak 720 (zielona tabliczka)

Rys. 2. Sygnały dopuszczające skręt w prawo podczas sygnału czerwonego ogólnego w wybranych krajach Europy

ceniu dopuszczalności kolizji sygnał zielony może być mylnie odczytywany przez kierujących jako bezkolizyjny, mimo nieznacznej różnicy w kształcie latarni w porównaniu do sygnalizatora S-3. Sygnał skrętu warunkowego w pozostałych krajach najczęściej umiejscawiany jest wyżej. Należałoby rozważyć możliwość zmiany lokalizacji sygnalizatora S-2 lub zmiany barwy sygnału na żółtą, która podkreśliłaby warunkową możliwość przejazdu przez skrzyżowanie. Godny rozpatrzenia jest także pomysł zróżnicowania sygnału S-2 w zależności od kolizyjności obsługi pojazdów skręcających.

Wpływ sygnału S-2 na bezpieczeństwo ruchu

Zwiększenie przepustowości oraz poprawa warunków ruchu na skrzyżowaniu dzięki zastosowaniu sygnałów S-2 ma swoją wadę w postaci zwiększonej liczby dopuszczalnych w czasie kolizji (rys. 3). W warunkach krajowych, z uwagi na powszechne stosowanie sygnalizatorów kierunkowych dla relacji skrętu w lewo, rzadko spotyka się kolizję ze strumieniem pojazdów zawracających (c) (rys. 3). Kolizja z pojazdami skręcającymi z wlotu przeciwnego (b) może mieć miejsce w przypadku zastosowania sterowania wlotami. Najczęściej dopuszczana jest kolizja z pojazdami z wlotu prostopadłego (a), natomiast najbardziej problematycznymi wydają się być konflikty z niechronionymi uczestnikami ruchu na przejściach (d) i przejazdach rowerowych (e). Jednocześnie brakuje jednoznacznych dowodów na zwiększenie ryzyka zdarzeń związanych z relacją skrętu w prawo dopuszczoną podczas sygnału czerwonego ogólnego – zależności między liczbą rejestrowanych konfliktów a liczbą zdarzeń związanych z relacją skrętu w prawo.



Rys. 3. Możliwe kolizje relacji skręcającej w kierunku wskazanym strzałką z innymi strumieniami ruchu

Doświadczenia zagraniczne pozwalają na stwierdzenie nieznacznego wpływu warunkowego dopuszczenia skrętu w prawo podczas sygnału czerwonego na brd. Syntezę z badań prowadzonych od lat 50. w USA przybliży [2]. Wyróżniono trzy grupy analiz:

- analizy danych historycznych o wypadkach,
- analizy konfliktów ruchowych,
- badania zachowania kierujących pojazdami.

Analiza baz danych wypadkowych pozwoliła na ocenę „przed” i „po” wprowadzeniu *RTOR* na skrzyżowaniach w różnych miejscowościach i Stanach. Okazało się, że wypadki związane z *RTOR* stanowią znikomy udział we wszystkich pojawiających się na skrzyżowaniu – w żadnej z analiz udział wypadków związanych z warunkowym skrętem w prawo podczas sygnału czerwonego nie przekroczył 1%. Nie wykazano istotności zmiany wskaźników wypadkowych po dopuszczeniu *RTOR*. Udział wypadków związanych z pieszymi i rowerzystami wzrastał nieznacznie, ale był statystycznie nieistotny. W konkluzji stwierdzono, że wprowadzenie *RTOR* spowodowało zwiększenie wypadków z udziałem pojazdów relacji skrętu w prawo, lecz wzrost ten nie był znaczący.

Analizy konfliktów ruchowych na skrzyżowaniach w Stanach Zjednoczonych pozwoliły ustalić, że najczęstsze konflikty z udziałem pojazdów skręcających w prawo podczas sygnału czerwonego związane są z pojazdami relacji na wprost i pieszymi z wlotu poprzecznego. W badaniach Parkera [2] ustalono, że z 594 konfliktów ruchowych dla całego skrzyżowania 52 (8,75%) związane było z *RTOR* – z czego 14 (27%) było konfliktami z relacją skrętu w lewo z wlotu przeciwnego, 22 (42%) z relacją na wprost z wlotu poprzecznego, 12 (23%) z pojazdami poprzedzającymi (kolizje najechania na tył poprzedzającego pojazdu) i 4 (8%) z udziałem pieszych.

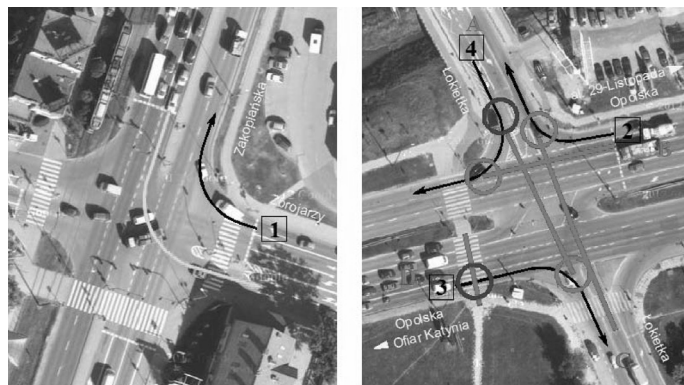
Obserwacje zachowania kierowców korzystających z warunkowego skrętu w prawo (*RTOR*) pokazały, że większość kierujących zatrzymuje się przed skrzyżowaniem (59,6%), natomiast kolejne 40% wyraźnie zwalnia przy dojeździe do przejścia i drogi poprzecznej [11]. Mniej niż 5% kierowców nie wykonuje manewru warunkowego skrętu w prawo, głównie z powodu blokowania przejazdu przez inne pojazdy (58%) bądź pieszych (8%). Późniejsze badania z Minneapolis wskazują, że od 35% do 56% kierujących pojazdami nie zatrzymuje się całkowicie przed linią zatrzymań przed wykonaniem manewru wjazdu na sygnale czerwonym – dla porównania warto wiedzieć, że 68% kierujących pojazdami nie zatrzymuje się całkowicie przed znakiem STOP na skrzyżowaniach bez sygnalizacji świetlnej [12]. Wyniki te potwierdza liczba mandatów wystawianych za to wykroczenie na podstawie zdjęć z fotoradar nadzorującego wjazdy na sygnale czerwonym. Badania wskazują również na problem w korzystaniu z *RTOR* przez starszych kierowców (tylko 16% starszych kierujących decyduje się na manewr skrętu w prawo w trakcie sygnału czerwonego wobec 83% młodszych). Kolejne badania wskazują, że na zachowania kierujących

może mieć wpływ zasięg widoczności. Brak dostatecznej widoczności wlotów prowadzi do mniej bezpiecznego wjeżdżania na przejście dla pieszych i rezygnacji z zatrzymania się [2].

Mniej optymistyczne wnioski przedstawiono w analizach oceniających efekty wprowadzenia znaku zielonej strzałki na Litwie [9]. Autorzy wskazują na aż 17% wzrost wypadków i 38% wzrost liczby kolizji w porównaniu do skrzyżowań bez dopuszczonego skrętu podczas sygnału czerwonego, przy czym należy zauważyć, że przeciętne wartości wskaźników wypadkowych w grupie skrzyżowań z sygnalizacją są większe niż w Niemczech i w Polsce. We wnioskach podano, że zieloną strzałkę trzeba zdemontować na wlotach podporządkowanych, a instalację na kolejnych skrzyżowaniach muszą poprzedzić analizy wypadkowe oraz analizy konfliktów w punktach kolizji relacji skrętu w prawo. Wyniki z Wilna mogą wskazywać na duże znaczenie doboru skrzyżowań, na których można dopuścić skręt w prawo podczas sygnału czerwonego, ale i istotność wpływu czynnika społeczno-kulturowego na ryzykowne zachowania kierujących pojazdami.

Wstępne badania zachowań kierujących korzystających z zielonej strzałki w Polsce

Na potrzeby wstępnej oceny zagrożenia brd związanego z instalacją sygnalizatorów S-2 na wlotach skrzyżowania, przeprowadzono badania obejmujące klasyfikację zachowań kierujących pojazdami, korzystających z zielonej strzałki oraz konfliktów z tym związanych [13]. Cechą specyficzną funkcjonowania zielonej strzałki w kraju jest stopień dopuszczalnej kolizyjności obsługi, dlatego jako kryterium wyboru poligonów przyjęto jego jak największe zróżnicowanie. Ocena zachowania kierujących została przeprowadzona na wybranych skrzyżowaniach w Krakowie (rys. 4). Pomiary przeprowadzono na skrzyżowaniu ulic Opolska–Łokietka oraz Zakopiańska–Zbrojarzy (bezkolizyjny sygnał S-2). W tabeli 1 zestawiono warianty obsługi pojazdów skręcających w prawo podczas sygnału S-2, szeregując je według stopnia kolizyjności obsługi.



Rys. 4. Strumienie relacji w prawo obsługiwane podczas nadawania sygnału skrętu warunkowego S-2 wraz ze strumieniami nadrzędnymi i punktami konfliktowymi a) skrzyżowanie Zakopiańska–Zbrojarzy, b) skrzyżowanie Opolska–Łokietka
Źródło: opracowanie własne na podstawie Google

Tabela 1

Wyróżnione sposoby obsługi pojazdów skręcających w prawo podczas nadawania sygnału dopuszczającego warunkowy skręt w kierunku wskazanym strzałką		
Lp.	Obsługa pojazdów	Liczba obserwacji kierujących pojazdami
P1	Zielona strzałka bezkolizyjna, wyświetlana przez część sygnału czerwonego ogólnego	297
P2	Zielona strzałka kolizyjna z pojazdami, wyświetlana przez część okresu sygnału czerwonego ogólnego	377
P3	Zielona strzałka kolizyjna z pojazdami i pieszymi/rowerzystami, wyświetlana przez część okresu sygnału czerwonego ogólnego	400
P4	Zielona strzałka wyświetlana jako kolizyjna lub bezkolizyjna przez część okresu sygnału czerwonego ogólnego	457
P5	Zielona strzałka wyświetlana jako kolizyjna z pieszymi i pojazdami przez całość okresu sygnału czerwonego ogólnego	770

W analizach zachowań kierujących zwrócono uwagę na przejazd przez linię zatrzymania oraz punkty kolizji ze strumieniami nadrzędnymi. Wyróżniono przy tym:

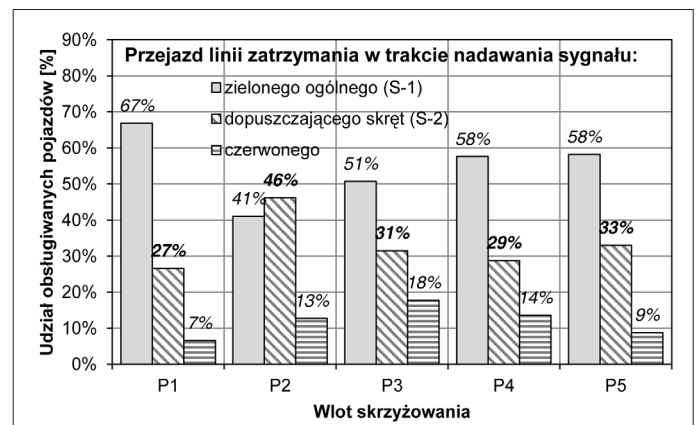
- wjazd na skrzyżowanie bez zatrzymania się przed sygnalizatorem lub z brakiem ustąpienia pierwszeństwa przejazdu strumieniom nadrzędnym (w tym pieszym);
- wjazd na skrzyżowanie z zatrzymaniem się przed punktem kolizji – przed sygnalizatorem (poprawnie) lub na tarczy skrzyżowania;
- wjazd na skrzyżowanie mimo braku nadawania sygnału zezwalającego na ruch (S-1) i sygnału dopuszczającego skręt (S-2), czyli w trakcie sygnału czerwonego – przed lub po wyświetleniu sygnału S-2;
- niewykorzystanie sygnału warunkowego S-2 na ruch, mimo możliwości przejazdu (oczekiwanie na linii zatrzymania na przejazd).

Ponadto rejestrowano liczbę pojazdów skręcających w danej relacji, parametry programu sygnalizacji, ruch pieszy oraz obecność kolejki pojazdów na pasie do skrętu w prawo przed rozpoczęciem nadawania sygnału zielonego (S-1). Pomiar prowadzono na skrzyżowaniu poza ścisłym centrum, dzięki czemu natężenie ruchu pieszego na przejściach było nieznaczne. Konflikty z intensywnym ruchem pieszym i rowerowym powinny być objęte odrębną analizą z uwagą na potencjalne większe zagrożenie niechronionych uczestników ruchu.

Udział pojazdów obsługiwanych podczas sygnału ogólnego oraz skrętu warunkowego przedstawia rysunek 5. Część kierujących wjeżdża na tarczę skrzyżowania mimo braku zezwolenia na ruch, tj. podczas sygnału czerwonego. Wjazdy te najczęściej odbywają się zaraz przed wyświetleniem oraz zaraz po wygaszeniu sygnału S-2. Instalacja sygnalizatorów zielonej strzałki może stanowić przyczynę obniżenia rangi sygnału zabraniającego wjazdu.

Obserwacje zachowania kierujących potwierdzają małą skłonność do zatrzymywania się przed sygnalizatorem S-2. Tylko 1.5–2.8% kierujących korzysta z zielonej strzałki w sposób przepisowy, a więc wyraźnie mniej niż wartości podawane w literaturze zagranicznej. Większość kierujących wjeżdża na

skrzyżowanie w sposób niezgodny z przepisami (tab. 2). Test Fishera-Snedecora dla proporcji prób niezależnych wskazuje na statystyczną istotność różnic (poziom istotności $\alpha = 0,05$) między poszczególnymi sposobami obsługi, jednakże z praktycznego punktu widzenia bezwzględna, około 1% różnica nie jest znacząca. W przypadku relacji obsługiwanych jako kolizyjne (sytuacje P2–P4) od 29,4% do 33,7% kierujących zatrzymało się za sygnalizatorem w celu ustąpienia pierwszeństwa przejazdu, natomiast na skrzyżowaniu z sytuacjami oznaczonymi jako P1 (tab. 1) 13%, mimo braku takiej potrzeby. Być może zatrzymanie się na samym wlocie, zamiast przed sygnalizatorem, traktowane jest przez część kierowców jako zachowanie przepisowe. Takie miejsca zatrzymania, pozwalające na lepszą obserwację innych strumieni ruchu, wydaje się bardziej naturalne dla prowadzącego pojazd.



Rys. 5. Udział pojazdów skręcających w prawo podczas nadawania poszczególnych sygnałów świetlnych

Istotnym problemem okazał się udział wjazdów pojazdów na skrzyżowanie w trakcie sygnału czerwonego, głównie w okresie przerwania sygnału wynikającego z konieczności zapewnienia obliczonego czasu międzyzielonego (tab. 2). Kierujący wjeżdżali na tarczę skrzyżowania, zanim otrzymali sygnał zezwalający na wjazd warunkowy (15% z grupy wszystkich pojazdów nie obsługiwanych podczas sygnału zielonego ogólnego) oraz po wygaszeniu zielonej strzałki (12%). Różnice między poszczególnymi wlotami są istotne statystycznie ($\alpha = 0.05$), przy czym wpływ na wyniki obserwacji ma także natężenie ruchu poszczególnych relacji. Największa liczba wjazdów podczas sygnału czerwonego dla strumienia P3 wynikać może częściowo z wyższego stopnia obciążenia na pasie ruchu – występowania kolejek pozostających. Najniższy udział pojazdów wjeżdżających na skrzyżowanie w trakcie sygnału czerwonego dotyczył strumienia P1. Złamanie zasady dotarcia do punktu kolizji pojazdów relacji podporządkowanej przed pojazdami relacji nadrzędnych w niektórych przypadkach prowadziło do konfliktów i wymuszenia pierwszeństwa przejazdu (0,6% przypadków). Natomiast wjazdy po wygaszeniu sygnału mogą prowadzić do powstania nieprzerwanego potoku pojazdów skręcających, jeśli w kolejnej fazie wyświetlany jest sygnał ogólny. Wówczas piesi na równoległym do wlotu przejściu otrzymują sygnał zielony w momencie, gdy przez przejście przejeżdża kolumna pojazdów, które powinny ustąpić pierwszeństwa

Tabela 2

Liczba i procentowe udziały wjazdów na tarczę skrzyżowania w zależności od wyświetlanych sygnałów						
wjazd	podczas nadawania sygnału S-2			podczas s. czerwonego		
wlot.	I prawidłowy przejazd	II brak zatrzymania	III brak przejazdu	IV przed sygnałem S-2	V po sygnale S-2	IV + V
P1	7 2,8%	187 75,4%	5 2,0%	20 8,1%	29 11,7%	49 19,8%
P2	5 1,6%	232 74,8%	6 1,9%	35 11,3%	32 10,3%	67 21,6%
P3	5 1,7%	173 58,8%	10 3,4%	69 23,5%	37 12,6%	106 36,1%
P4	7 2,0%	221 64,6%	7 2,0%	66 18,7%	45 12,7%	111 31,4%
P5	5 1,5%	247 74,2%	11 3,3%	43 12,9%	27 8,1%	70 21,0%

pieszym. Ponadto w przypadku strumieni P3 i P4 zaobserwowano zatrzymywanie się na przejściu i jego blokowanie przez kolejkę pojazdów ustępujących pierwszeństwo strumieniom nadrzędnym. Zmuszało to pieszych do przekraczania jezdni poza przejściem (1% przypadków).

Przeprowadzone pomiary wskazują na niewłaściwe zachowanie kierujących korzystających z sygnału S-2, niezależnie od przyjętych zasad jego nadawania. Mimo istotnych statystycznie różnic, na podstawie pojedynczych przykładów nie można sformułować wniosków rozstrzygających, jaki jest wpływ zasad (bądź ich braku) projektowania sygnału S-2 na bezpieczeństwo ruchu. Wyniki analiz wskazują na potrzebę lepszego uwzględnienia zachowań kierujących pojazdami w doborze momentu włączenia i wyłączenia sygnału dopuszczającego skręt w kierunku wskazanym strzałką oraz potrzebę dalszych badań ukierunkowanych na analizę rzeczywistych konfliktów między grupami użytkowników.

Kryteria celowości stosowania sygnalizatorów S-2

Jak dotąd nie opracowano wytycznych i wskazówek dotyczących celowości stosowania sygnalizatorów S-2 oraz sposobu obsługi pojazdów skręcających – w Rozporządzeniu [4] występują jedynie zapisy wykluczające. Sygnału S-2 nie nadaje się m.in., gdy: relacja skrętna korzysta z więcej niż jednego pasa ruchu, występuje kolizja z pojazdami otrzymującymi sygnał zielony kierunkowy lub ze strumieniem tramwajów z wlotu innego niż przeciwny. Podobne ograniczenia obowiązują w Niemczech. Oprócz powyższych, niemieckie przepisy administracyjne [6] wykluczają stosowanie znaku zielonej strzałki w następujących przypadkach:

- jeśli na kolizyjnym przejeździe dla rowerów ruch rowerzystów dopuszczony jest w dwóch kierunkach lub mimo jednokierunkowej ścieżki dla rowerów w rzeczywistości występuje ruch w kierunku przeciwnym i nie ma możliwości jego ograniczenia za pomocą środków inżynierskich,
- sygnalizacja ma na celu podniesienie bezpieczeństwa ruchu w rejonie szkoły,
- na skrzyżowaniu występuje częsty ruch osób niewidomych lub o ograniczonej mobilności.

Dodatkowo przyjęto zasadę, że w przypadkach gdy zielona strzałka będzie powodem wypadków i kolizji należy ją usunąć, niezależnie od spełnienia formalnych warunków jej zastosowania.

W Niemczech wprowadzono dodatkowe zalecenia [7], które pomagają podjąć decyzję w zakresie stosowania zielonej strzałki. Zgodnie z nimi należy rozważyć rezygnację z zielonej strzałki, jeśli:

- występuje znaczna liczba strumieni konfliktowych;
- długie pojazdy (ciężarówki, autobusy), oczekujące na lukę w potoku nadrzędnym, blokować będą przejście dla pieszych, prowadząc do przekraczania jezdni przez pieszych poza nim, pomiędzy oczekującymi pojazdami;
- utrudniony zostanie ruch autobusów komunikacji zbiorowej skręcających w lewo na skrzyżowaniu;
- korytarz ruchu autobusów i ciężarówek skręcających w prawo, z uwagi na geometrię skrzyżowania, nachodzi na korytarze strumieni innych relacji;
- w nadrzędnym strumieniu występują częste przypadki zawracania pojazdów – potencjalne kolizje pomiędzy zawracającymi pojazdami i pojazdami warunkowo skręcającymi w prawo.

Zielonej strzałki nie stosuje się także na skrzyżowaniach zamiejskich ze względu na większe prędkości pojazdów.

W Stanach Zjednoczonych sformułowano szereg kryteriów dotyczących stosowania *RTOR*. Dzieli się je na dwie grupy:

1. kryteria obowiązkowe zakazujące stosowania *RTOR* – zakaz stosowania na skrzyżowaniu, jeżeli jedno lub więcej z podanych kryteriów jest spełnionych;
2. kryteria opcjonalne zakazujące stosowania *RTOR* – *RTOR* na skrzyżowaniu może być zakazany, jeżeli jedno lub więcej z kryteriów jest spełnionych.

W publikacji [2] zestawiono następujące czynniki mające wpływ na dopuszczenie *RTOR*: i bezpieczeństwo ruchu:

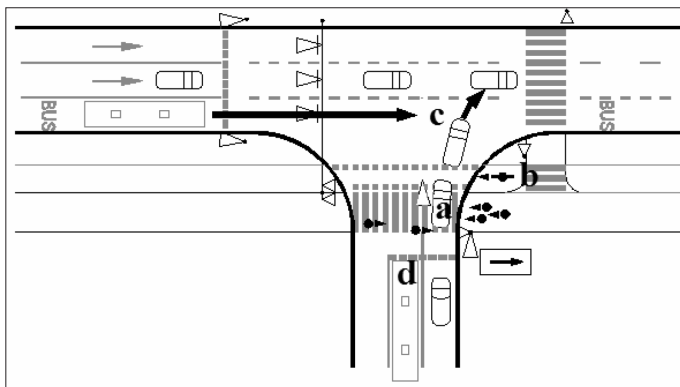
- warunki ruchu: znaczące konflikty z pieszymi, znacząca liczba konfliktów z innymi strumieniami (np. z relacją skrętu w lewo z przeciwnego wlotu);
- cechy geometryczne: ograniczenia widoczności, skrzyżowania z liczbą wlotów większą od czterech, skrzyżowania z wlotami krzyżującymi się pod kątem ostrym, obecność dwóch wydzielonych pasów ruchu dla relacji skrętu w prawo lub w lewo,
- charakterystyki funkcjonalne: obecność wydzielonej fazy ruchu dla pieszych, wloty z dużą prędkością pojazdów, na które mają wjechać pojazdy *RTOR*, niewystarczająca przepustowość pasa wylotowego;
- inne warunki drogi i jej otoczenia: przejazdy kolejowe w pobliżu skrzyżowania, przejścia w pobliżu szkół, sąsiedztwo obszarów z dużą liczbą dzieci lub osób starszych;
- dane o wypadkach.

Na podstawie przeprowadzonych studiów literatury, obserwacji i pomiarów, zaproponowano własną adaptację wybranych kryteriów możliwości dopuszczenia kolizyjnego skrętu w prawo, które powinny być przeanalizowane przed podjęciem decyzji o zaprojektowaniu układu faz ruchu i programu sygnalizacji. Kryteria te podzielone zostały na czynniki sprzyjające, ograniczające bądź wykluczające zastosowanie kolizyjnego w czasie wyświetlania sygnału S-2 (tab. 3).

Czynniki sprzyjające stosowaniu zielonej strzałki związane są z poprawą sprawności funkcjonowania skrzyżowania. Jest to szczególnie istotne, gdy największy stopień obciążenia w fazie związany jest z pasem prowadzącym relację skrętu

Tabela 3

Propozycja czynników pomocniczych w analizie możliwości zastosowania sygnału S-2 o dopuszczonej kolizji z pojazdami bądź pieszymi/rowerzystami (na podstawie studiów literatury i własnych obserwacji)	
Czynniki sprzyjające stosowaniu sygnałów S-2 o kolizyjnym przebiegu ruchu	
1	pas ruchu prowadzący relację skrętu przynależy do krytycznej grupy obliczeniowej w fazie
2	relacja skrętu w prawo korzysta z pasa przeznaczanego dla autobusów
3	strumień relacji w prawo obsługiwany jest w fazie wywoływanej po zgłoszeniu zapotrzebowania
4	relacja skrętu w prawo na wylocie korzysta z pasa włączania
Czynniki ograniczające stosowanie sygnałów S-2 o kolizyjnym przebiegu ruchu	
1	występujące konflikty z pieszymi na przejściu (rys. 6 – przypadek a)
2	obecność przejazdu rowerowego prowadzącego znaczny ruch rowerowy
3	wysoki udział pojazdów ciężkich (dłuższych) w potoku skręcającym, jeśli na wlocie wyznaczono przejście/przejazd
4	ograniczenie widoczności na przejście/przejazd rowerowy przez pojazdy zatrzymujące się na sąsiednim pasie ruchu
5	duża prędkość dopuszczalna na drodze poprzecznej
6	regularne kolejki pojazdów na wlocie skrzyżowania w godzinie szczytu
7	powodowanie utrudnień w ruchu dla komunikacji zbiorowej poruszającej się wydzielonym pasem dla autobusów (rys. 6 – przypadek c)
8	obecność szkół lub ośrodków dla ludzi o ograniczonej sprawności ruchowej
9	geometria umożliwiająca przejazd z dużą prędkością przez przejście dla pieszych
10	jedynie nieznaczna poprawa warunków ruchu
Czynniki wykluczające stosowanie sygnałów S-2 o kolizyjnym przebiegu ruchu	
1	kolizje i wypadki jako skutek kolizyjnej obsługi relacji skrętnej w prawo
2	zezwoleń na ruch relacji w lewo z przeciwnego wlotu (niejednoznaczność pierwszeństwa przejazdu przy sterowaniu wlotami)
3	wysoki udział pojazdów zawracających, kolizyjny z relacją w prawo
4	brak wystarczającej widoczności potoku nadrzędnego
5	niekorzystny kąt krzyżujących się dróg utrudniający obserwację strumieni nadrzędnych



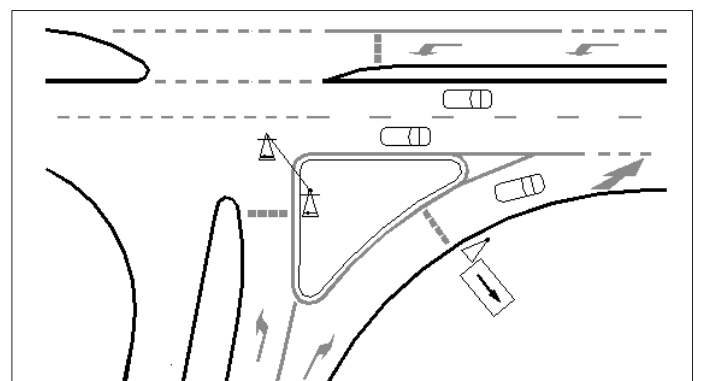
Rys. 6. Przykłady sytuacji konfliktowych: a) blokowanie przejścia i przejazdu przez skręcające pojazdy, b) konflikty z rowerzystami nadjeżdżającymi z prawej, c) utrudnienie przejazdu pojazdom komunikacji zbiorowej, d) ograniczenie widoczności na przejście i przejazd rowerowy przez pojazdy oczekujące na sąsiednim pasie ruchu

w prawo. Wprowadzenie zielonej strzałki może przyczynić się do poprawy warunków ruchu na całym skrzyżowaniu dzięki możliwości zmiany podziału splitów w grupach sygnałowych. Wzrost przepustowości zależy od czynników ruchowych (natężenia nadrzędne, rozkład relacji na pasy) powinien być oszacowany za pomocą dostępnych metod, np. [14] lub mikrosymulacji ruchu. W przypadku dużych natężeń ruchu relacji nadrzędnych i/lub korzystania z pasa ruchu przez inne relacje, wzrost przepustowości może okazać się nieznaczny. Zielona strzałka może jednakże prowadzić do poprawy warunków ruchu w okresie pozaszczytowym. Beneficjentami zastosowania sygnalizatorów S-2 są także autobusy komunikacji zbiorowej, zwykle poruszające się skrajnym pasem ruchu. Prace M. Bauera [15] wskazują na zdecydowanie krótsze czasy rozładowania kolejek pojazdów skręcających z pasa dla autobusów, niż wynikałoby to z modeli teoretycznych, głównie dzięki zastosowaniu sygnalizatorów S-2. Natomiast zielona strzałka umożliwiająca włączenie się do ruchu pojazdów, które wymaga przejazdu przez pas przeznaczony dla autobusów, może być przyczyną pogorszenia bezpieczeństwa i warunków ruchu autobusówna skrzyżowaniu. Samochody oczekujące na włączenie się do ruchu mogą blokować przejazd autobusom (rys. 6c), prowadząc do wzrostu strat czasu oraz hamowania (często z dużym opóźnieniem, niepożądanym w przypadku komunikacji zbiorowej).

Zastosowanie zielonej strzałki może prowadzić do spadku przepustowości i pogorszenia warunków ruchu na kierunku prostopadłym w przypadku przeciążenia sieci – występowania kolejek na wlocie skrzyżowania. Skręcający w prawo niechętnie respektują zakaz wjazdu za sygnalizator w sytuacji braku możliwości opuszczenia skrzyżowania, nie blokują bowiem ruchu dla innych strumieni aż do momentu zmiany fazy. Usunięcie sygnalizatora S-2 pozwoliłoby na lepszą redystrybucję przepustowości ograniczonej przez kolejki na wlocie skrzyżowania.

Sygnalizator S-2 może pomóc w ograniczeniu niekorzystnych skutków wymogu stosowania sygnalizacji dla wszystkich strumieni ruchu na skrzyżowaniu [4], zwłaszcza gdy relacja skrętu w prawo prowadzona jest przez pas włączania. Przykład takiego rozwiązania zastosowanego na skrzyżowaniu w m. Kobiór przedstawiono na rys. 7.

Czynniki ograniczające możliwość stosowania zielonej strzałki wynikają z wymagań brd i są nadrzędne w stosunku



Rys. 7. Sygnalizator S-2 dla strumienia ruchu posiadającego pas włączania.

do wymagań sprawności ruchu. Jeśli poprawa przepustowości prowadzi do powstania konfliktów ruchowych na skrzyżowaniu, wzorem wytycznych zagranicznych, należy rozważyć likwidację sygnalizatorów S-2, w szczególności dotyczy to konfliktów z pieszymi. Istotnym problemem, który będzie narastać w Polsce wraz ze wzrostem ruchu rowerowego, są konflikty na wyznaczonych przejazdach rowerowych. Część sytuacji potencjalnie niebezpiecznych wynikać może z ograniczenia widoczności (np. przesłanianie przez pojazdy oczekujące na sąsiednim pasie ruchu) lub konieczności obserwacji kilku strumieni ruchu jednocześnie (rys. 6 – przypadek b i d). Charakter konfliktów tego typu, na skrzyżowaniu bez sygnalizacji, omawia [16]. Włączenie się do ruchu wymaga od kierowcy skupienia uwagi na pojazdach poruszających się od prawej, przez co wjazd rowerzysty z przeciwnego kierunku może zostać niezauważony. Sprzyjać tego typu konfliktom może również ukształtowanie geometryczne ścieżki rowerowej (np. odgięcia toru jazdy mogące sugerować zmianę kierunku jazdy przez rowerzystę).

W przypadku, gdy zastosowanie sygnału S-2 narusza podstawowe kryteria bezpieczeństwa ruchu (brak wystarczającej widoczności, nieczytelność zasad pierwszeństwa), powinno się zrezygnować z wykorzystania kolizyjnej zielonej strzałki w sterowaniu. Podobnie, jeśli skutek stosowania zielonej strzałki dochodzi do kolizji i wypadków z nią związanych, należałoby ją usunąć. Proponowane wartości progowe, wynoszące średnio jedno zdarzenie na rok, podają wymagania niemieckie [6] oraz amerykańskie [2, 12]. W Niemczech oprócz samych zdarzeń uwzględnia się także liczbę „drastycznych wykroczeń przeciwko przepisom ruchu drogowego” jako kryterium oceny konieczności usunięcia znaku strzałki.

Zestawione, na podstawie doświadczeń zagranicznych, w tablicy 3, czynniki warunkujące stosowanie sygnału S-2 mają charakter kryteriów jakościowych, gdyż brak jest podstaw do formułowania zaleceń ilościowych. Tęgo typu zalecenia krajowe mogą się pojawić po przeprowadzeniu dalszych badań. Analizy bazujące na danych empirycznych służyłyby również ocenie, które z podanych czynników są istotne w warunkach krajowych.

Podsumowanie

W wielu krajach stosowane są odpowiedniki sygnału S-2, jednakże znacznie częściej przepisy administracyjne lub praktyka projektowa ograniczają zakres stosowania takiej formy sygnału bardziej niż w Polsce [4]. Umożliwienie skrętu w prawo za pomocą sygnałów świetlnych daje możliwość przyznawania go tylko w określonym momencie cyklu, zwiększając możliwości instalacji strzałek na wlotach skrzyżowań. Obserwowane są jednakże niekorzystne zachowania kierujących – np. spadek sygnału czerwonego jako bezwzględnie zabraniającego wjazd za sygnalizator.

Kontrowersje związane ze stosowaniem sygnału S-2 o dopuszczonej kolizji z innymi strumieniami ruchu wynikają z braku miarodajnej oceny wpływu zielonej strzałki na bezpieczeństwo ruchu. W pewnych warunkach rozwiązanie to jest przydatne i bezpieczne. W innych generować może ono liczne sytuacje konfliktowe. Ilościowa ocena skutków stoso-

wania sygnału S-2 w określonych warunkach pozwoliłaby na zamianę dwubiegunowego podejścia do praktyki stosowania tego sygnału, tj. „stosować – nie stosować”, które powinno być zastąpione przez wytyczne projektowania sygnalizacji z uwzględnieniem sygnału dopuszczającego skręt w kierunku wskazanym strzałką. Zaproponowane kryteria mogą stanowić punkt wyjścia do dalszych badań i analiz. Istnieje potrzeba prowadzenia badań konfliktów ruchowych, związanych z obsługą pojazdów na zielonej strzałce, w celu kwantyfikacji zagrożenia bezpieczeństwa ruchu przy danych typach obsługi pojazdów skręcających w prawo na skrzyżowaniu.

Literatura

1. Narożny J., *Zielona strzałka – potwierdzenie!*, „Autostrady”, 2008, nr 8–9.
2. Yi Qi, Da Li, *When Should Right Turn on Red (RTOR) Be Used? Synthesis on the Safety of RTOR*, 91st Annual Meeting of the Transportation Research Board, 2012.
3. Głowacka J., Kidawa J., Sierpiński G., *Ocena warunków ruchu w sytuacji zastosowania sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką dla wybranych skrzyżowań z sygnalizacją świetlną w Katowicach*, „Logistyka”, 2010, nr 2 (na dysku CD).
4. *Rozporządzenie Ministrów Infrastruktury oraz Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 31 lipca 2002 r. w sprawie znaków i sygnałów drogowych*, Dz. U. Nr 170, poz. 1393, Warszawa, 12.10.2002 r.
5. BASt: Umsetzung der Neuerungen der StVO in die Straßenverkehrs – rechtliche und straßenbauliche Praxis, Verkehrstechnik, V 144.
6. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung (VwV-StVO) Vom 22. Oktober 1998 In der Fassung vom 17. Juli 2009 http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_26012001_S3236420014.htm (dostęp w dniu 18.05.2013r.).
7. Richtlinien für Lichtsignalanlagen – RiLSA. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Verlag, Köln, 1992/2003.
8. Service d'Etudes sur les Transports, les Routes et leurs Aménagements (Sétra), Instruction interministérielle sur la signalisation routière – Livre I – 6ème partie: feux de circulation permanents, 2002.
9. Klibavicius A., Juknevičiute-Zilinskiene L., *Investigation of crossroads regulated by traffic lights with an attachable arrow in terms of road accident rate and perviousness*, Environmental Engineering The 8 International Conference, May, 2011, Vilnius, Lithuania.
10. Český normalizační institut: ČSN 73 6021 Světelná signalizační zařízení - Umístění a použití návěstidel, Praga, 1994.
11. ITE Technical Council Committee 4M-20. Driver Behavior at Right-Turn-on-Red Locations. ITE Journal, Vol. 62 (4), 1992.
12. *No Turns on Red Implementation Guidelines*, City of Minneapolis, MN, 2005.
13. Pieronkiewicz W., *Wpływ sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką na brd*, praca dyplomowa inżynierska, Politechnika Krakowska, Kraków 2012.
14. Tracz M., Chodur J., Gaca S., Gondek S., Kieć M., Ostrowski K., *Metoda obliczania przepustowości skrzyżowań z sygnalizacją świetlną*, GDDKiA, Warszawa 2004.
15. Bauer M., *Zakłócenia czasu przejazdu autobusów korzystających z wydzielonych pasów ruchu na wlotach skrzyżowań z sygnalizacją świetlną*, „Transport Miejski i Regionalny”, 2013, nr 2.
16. Summala H., Pasanen E., Räsänen M. & Sievänen J., *Bicycle accidents and driver's visual search at left and right turns*, Accident Analysis and Prevention, 1996, Vol 28/2.