

Assoc. Professor PhD Krzysztof Olejnik

Opole University of Technology
Faculty of Production Engineering and Logistics
Sosnkowskiego str. 31 45-272 Opole
E-mail: k.olejnik@po.opole.pl

3

Analiza niebezpieczeństw w eksploatacji autobusów miejskich

**Niebezpieczeństwa w eksploatacji autobusów – problemy przy zmianie
sygnału na skrzyżowaniu**

Słowa kluczowe: *eksploatacja autobusów, sygnalizacja świetlna, system bezpieczeństwa*

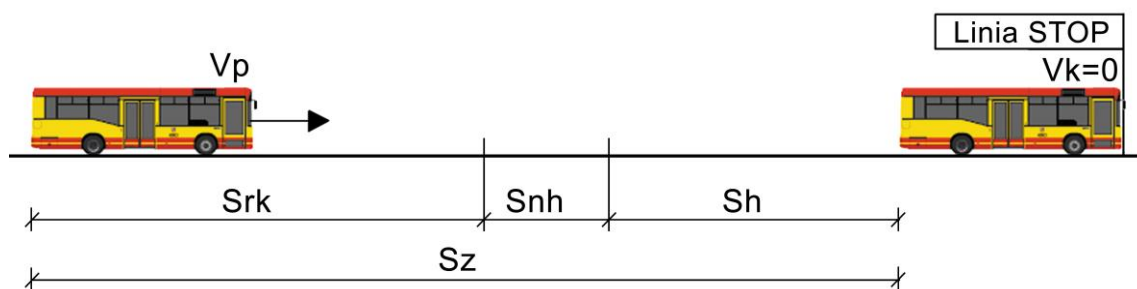
Streszczenie: Eksploatacja powinna uwzględniać eliminację możliwości wypadków. W artykule rozważane są wybrane problemy występujące w eksploatacji autobusów komunikacji miejskiej transportu publicznego na skrzyżowaniach. Przeanalizowano spełnianie wymagań systemu bezpieczeństwa w trakcie zmiany sygnału na sygnalizatorze, sterującego ruchem na skrzyżowaniu. Czynniki ludzkie w ergonomii jest istotny. Zakończenie wyświetlania sygnału zielonego (w szczególnych sytuacjach) powoduje dylemat decyzji. Kierujący gwałtownie hamuje (przewracając pasażerów w autobusie) albo przejeżdża za sygnalizator wyświetlający sygnał czerwony. Wskazano na potrzebę wprowadzenia zmian w przepisach, które pozwoliłyby na wprowadzenie adekwatnych rozwiązań. Są to działania z obszaru systemu bezpieczeństwa czynnego w eksploatacji pojazdów w ruchu drogowym. Wykazano potrzebę podawania informacji wyprzedzającej i zmian zapisów w obowiązującym prawie.

1. Wprowadzenie

Zagrożenia wypadkami dla pasażerów autobusów komunikacji publicznej w miastach w ruchu drogowym dotyczą wszystkich: w kraju członkowskim (np. Polska) jak i w krajach sąsiednich. Rozpatrując system bezpieczeństwa w aspekcie eksploatacji pojazdów – autobusów komunikacji miejskiej, trzeba uwzględnić dużą rolę ergonomii. W ruchu drogowym istnieje zawsze ryzyko wystąpienia kolizji lub wypadku. Ograniczenia psychofizyczne człowieka muszą być uwzględniane podczas eksploatacji pojazdów. Czynniki ludzkie - ze względu na popełniane błędy, ma tutaj decydujące znaczenie [4]. W ogólności ergonomia zajmuje się dostosowaniem: warunków pracy oraz cech obiektów technicznych do psychofizycznych cech człowieka [5].

W eksploatacji pojazdów konieczne jest dostosowanie warunków poruszania się uczestników ruchu drogowego (infrastruktura drogi i jej otoczenie) do psychicznych i fizycznych możliwości człowieka. Przykładem jest uwzględnienie czasu reakcji kierującego na pojawiający się bodziec, np. potrzebę natychmiastowego zatrzymania samochodu (Rys. 1). W efekcie dążymy do niskiego poziomu zagrożeń wypadkowych przy możliwie największej sprawności systemu drogowego. Elementami tego są między innymi: przepustowość oraz prędkość komunikacyjna. W eksploatacji autobusów publicznego transportu miejskiego między innymi występują skrajne sytuacje na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną. Dotyczy to szczególnie stanów przejściowych. Zakończenie wyświetlania sygnału zielonego, dalej żółtego i rozpoczęcie wyświetlania sygnału czerwonego, zgodnie z wymaganiami Konwencji Wiedeńskiej o znakach i sygnałach [3]. W wyniku nadania odpowiedniego sygnału, autobus powinien się zatrzymać przed sygnalizatorem.

Duży wpływ na system bezpieczeństwa w eksploatacji samochodów ma prawidłowe sformułowanie przepisów regulujących ruch drogowy, będących swego rodzaju procedurą eksploatacji. Zatrzymanie pojazdu może być realizowane przy różnych wartościach opóźnień. Dla dużych wartości opóźnień powstaje duże ryzyko zagrożenia wypadkiem dla pasażerów autobusu. Jednym z elementów, który wpływa na bezkolizyjne i bezwypadkowe utrzymanie ruchu pojazdów jest uregulowanie zasad postępowania – szczególnie w stanach przejściowych sytuacji skrajnych. A podstawowym warunkiem systemu bezpieczeństwa w eksploatacji pojazdów jest ich przestrzeganie. Dlatego w autobusach miejskich transportu publicznego obowiązuje ograniczenie "gwałtowności" hamowania. Kierujący podczas hamowania nie powinni przekraczać wartości opóźnień $a_{\max} = 1,5 \text{ m/s}^2$.



Rys. 1. Schemat drogi zatrzymania S_z autobusu przed przeszkodą – elementy składowe gdzie:

S_{rk} – droga przebyta w czasie reakcji kierującego,

S_{nh} – droga przebyta w czasie narastania siły hamowania,

S_h – droga przebyta w trakcie hamowania,

S_z – droga zatrzymania autobusu,

V_p – początkowa wartość prędkości autobusu,

V_k – końcowa wartość prędkości autobusu.

Większe wartości opóźnień podczas hamowania autobusu, tramwaju, trolejbusu, są szczególnie niebezpieczne dla pasażerów podróżujących w pozycji stojącej. Może to spowodować przewrócenie się podróżującego i powstanie urazów. Taka sytuacja ma miejsce gdy autobus znajduje się na tyle daleko od sygnalizatora, że nie zdąży przejechać w trakcie trwania sygnału żółtego. Wówczas kierowca (unikając gwałtownego hamowania) musi wjechać za sygnalizator wyświetlający już sygnał czerwony. Alternatywą wtedy jest zahamowanie przed sygnalizatorem przy dużych wartościach opóźnień. Obserwacja na drogach zachowań uczestników ruchu wskazują, że jest wiele zastrzeżeń, co do ich poprawności wynikających ze źle sformułowanych przepisów. Ogromny postęp techniczny i gwałtowny rozwój urządzeń, umożliwiają stosowanie rozwiązań wspomagających kierujących autobusami w tym zakresie, wcześniej niedostępnych.

Celem badań jest analiza niebezpieczeństw i ocena wpływu zmiany sygnału (na sygnalizatorze skrzyżowania, z zielonego na żółty) na możliwość powstania obrażeń u pasażerów autobusu miejskiego przejeżdżającego skrzyżowanie w wyniku gwałtownego hamowania.

Zakres badań obejmuje przeprowadzenie analiz możliwych zdarzeń w trakcie przejazdu autobusu miejskiego przez skrzyżowanie w sytuacji skrajnej - zmiany na sygnalizatorze sygnału zielonego na żółty. Rozpatrywane będą dwa stany: możliwość przejazdu przez skrzyżowanie przed zapaleniem się sygnału czerwonego lub możliwość zatrzymania autobusu przed sygnalizatorem przy uzyskaniu małych opóźnień hamowania.

Podmiotem badań są kierujący autobusami miejskimi w transporcie publicznym w miastach. Ich indywidualne cechy oraz ograniczenia wynikające z przepisów, wpływają na system bezpieczeństwa w eksploatacji autobusów.

Przedmiotem badań są przepisy regulujące ruch na drogach oraz przepisy dotyczące sygnalizacji świetlnej na skrzyżowaniach. Ujawnienie występujących w nich wad umożliwi wprowadzenie zmian poprawiających system bezpieczeństwa w ruchu drogowym.

Zastosowano metodę badań polegającą na analizie zależności matematycznych i kinematycznych ruchu autobusu przy dojeździe do skrzyżowania z sygnalizacją świetlną w trakcie zmiany sygnału. W krajach członkowskich UE pasażerowie autobusów miejskich mogą podróżować w pozycji stojącej. Duże opóźnienia w trakcie hamowania, mogą powodować przewracanie się pasażerów i uszkodzenia ciała. Regulacje dotyczące sterowania sygnalizacją świetlną na skrzyżowaniach oparte są na Konwencji Wiedeńskiej o znakach i sygnałach [3]. W krajach europejskich sygnalizacja świetlna powoduje powstawanie podobnych problemów przy zmianie sygnału zielonego na żółty. Przejazd przez skrzyżowanie może w skrajnych sytuacjach wywoływać konieczność gwałtownego hamowania. Zmiana nagle nadawanego sygnału (bez wcześniejszego uprzedzenia, zaskakująca kierowcę autobusu), dla pasażerów rodzi zagrożenie wypadkiem.

W dostępnej literaturze autorzy [1, 5, 6] zajmowali się "strefą dylematu" wynikającą z istnienia sygnału żółtego i niebezpieczeństw tym powodowanych. Jest to trochę podobna tematyka, dotycząca wszystkich uczestników ruchu. Nie znaleziono publikacji na temat rozważanego w artykule problemu, dotyczącego gwałtownego hamowania autobusów transportu miejskiego przy zmianie nadawanego sygnału. W regulacjach prawnych dla krajowych przepisów, ten problem nie jest dostrzegany.

Nasuwać się pytania: czy przepisy prawa powinny uwzględniać i przewidywać sytuacje skrajne? Jaki poziom zagrożeń jest dopuszczalny, a jaki już nie? Czy mamy akceptować rozwiązania powodujące zagrożenie utraty zdrowia? Czy jesteśmy zobowiązani je eliminować z istniejącego prawodawstwa? Powyższe pytania były inspiracją do powstania artykułu.

2. Analiza zapisów w obowiązującym prawie

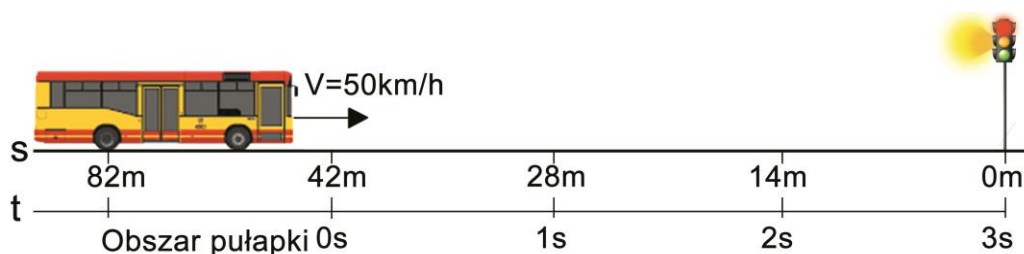
Podstawowym aktem prawnym regulującym i wpływającym na system bezpieczeństwa w eksploatacji pojazdów jest kodeks drogowy oparty na Konwencji Wiedeńskiej o ruchu drogowym [2]. Między innymi określa ona reguły w ruchu drogowym obowiązujące jego uczestników również w rozważanym tutaj zakresie ich użytkowania. Ponadto obowiązuje rozporządzenie o znakach i sygnałach drogowych oparte na zapisach przyjętej Konwencji Wiedeńskiej o znakach i sygnałach [3]. Zgodnie z obowiązującymi przepisami ograniczenie wartości prędkości w miastach wynosi 50 km/h oraz 60 km/h. Dla większej wartości prędkości mamy jeszcze trudniejsze warunki dla kierującego autobusem.

Przyjęto (obowiązującą zgodnie z obowiązującymi przepisami w sygnalizacji na skrzyżowaniach) długość sygnału żółtego (po zielonym) o wartości $t_{\text{żółt}} = 3\text{s}$. Wewnętrzne regulaminy firm wykonujących transport miejski przewidują, że kierujący podczas hamowania nie powinni przekraczać wartości opóźnień $a_{\text{max}} = 1,5\text{m/s}^2$. Wynika to ze względów bezpieczeństwa pasażerów jadących w pozycji stojącej. Autobus poruszający się z prędkością o wartości $V = 50\text{km/h}$ ($13,89\text{m/s} \sim 14,0\text{m/s}$) przejedzie w czasie wyświetlania sygnału żółtego ($t_{\text{żółt}} = 3\text{s}$) drogę $S = 41,7\text{m}$. Poniżej zostanie przeprowadzona analiza stanów przejściowych na skrzyżowaniu w trakcie zmiany sygnałów sygnalizacji świetlnej. Celem jest wykazanie niebezpieczeństw powodowanych obecnie obowiązującymi przepisami, opartymi o zapisy Konwencji Wiedeńskiej w zakresie przepisów ruchu drogowego [2]. Przeprowadzone rozważania mają wykazać potrzebę wprowadzenia koniecznych zmian w

tych przepisach. Ma to zagwarantować wyeliminowanie możliwych niebezpieczeństw – między innymi przez wprowadzenie informacji wyprzedzającej o mającej nastąpić zmianie.

3. Analiza kinematyczna możliwego scenariusza - wyniki badań

W eksploatacji autobusów mamy również do czynienia ze scenariuszami skrajnymi. Występują sytuacje zmiany sygnału z zielonego na żółty w momencie, gdy autobus znajduje się w obszarze na tyle odległym od sygnalizatora (powyżej 42m), że nie zdąży przejechać w trakcie trwania sygnału żółtego. Alternatywą jest gwałtowne zahamowanie przed sygnalizatorem przy dużych wartościach opóźnień. Jest to obszar (pułapki) powodujący to, że aby uniknąć gwałtownego hamowania (przewracanie pasażerów) trzeba wjechać za sygnalizator wyświetlający zmieniony już sygnał czerwony (Rys. 2). Źle sformułowany przepis umożliwia takie kształtowanie sygnalizacji która powoduje powstanie dylematu u kierującego autobusem – wybór spośród złych rozwiązań. Brak informacji wyprzedzającej sprzyja temu negatywnemu zjawisku.



Rys. 2. Schemat występowania "obszaru pułapki" dla autobusu miejskiego, przed skrzyżowaniem z sygnalizacją przy wyświetlanym sygnale żółtym

Koincydencja czasoprzestrzenna procesu powinna powodować uwzględnianie wartości znacznie dłuższej drogi zatrzymania S_z hamującego autobusu ze znacznie ograniczonymi wartościami opóźnień. Kierujący powinien znacznie wcześniej otrzymać informację o zbliżającej się zmianie sygnału. Należy uwzględnić następujące czynniki: czas reakcji kierującego, czas zadziałania układu hamulcowego, ograniczoną wartość opóźnienia, długość drogi hamowania, wartość czasu wyświetlania sygnału żółtego (po zielonym). Ponadto należy uwzględnić położenie (lokalizację) autobusu przed sygnalizatorem w momencie zmiany nadawanego sygnału [1, 5].

$$S_z = S_{rk} + S_{nh} + S_h = V_p \cdot t_{rk} + V_p \cdot \frac{t_{nh}}{2} + \frac{V_p^2}{a \cdot 2} \quad (1)$$

$$a = \frac{V_p^2}{(S_z - S_{rk} - S_{nh}) \cdot 2} = \frac{V_p^2}{\left(S_z - V_p \cdot t_{rk} - V_p \cdot \frac{t_{nh}}{2}\right) \cdot 2} \quad (2)$$

gdzie:

S_z – droga zatrzymania autobusu,

S_{rk} – droga przebyta w czasie reakcji kierującego autobusem,

S_{nh} – droga przebyta w czasie narastania siły hamowania,

S_h – droga przebyta w trakcie hamowania,

V_p – wartość prędkości na dojeździe do skrzyżowania – dopuszczalna, określona przepisem,

t_{rk} – czas reakcji kierującego,

t_{nh} – czas narastania siły hamowania,

a – opóźnienie hamowania autobusu.

W eksploatacji autobusów, rozpatrywany system bezpieczeństwa nie uwzględnia dostatecznie, ograniczeń wynikających z zasad ergonomii. Ograniczenia psychofizyczne silnie wpływają na system bezpieczeństwa w eksploatacji pojazdów. Obliczenia drogi zatrzymania i opóźnień wykonano według zależności (1 i 2) przy następujących założeniach.

- Sygnalizacja regulująca ruch na skrzyżowaniach, znajduje się w miejscach gdzie obowiązuje wartość prędkości dopuszczalnej: 50km/h jak i 60km/h - wartości dla miast.
- W obliczeniach uwzględniono także skrajne wartości: maksymalne i minimalne czasu reakcji kierującego oraz maksymalne i minimalne czasu narastania siły hamowania.

W tab. 1 i 2, przedstawiono dane wejściowe i wyniki obliczeń. Pokazano przykładowe wyniki obliczeń drogi zatrzymania oraz opóźnień dla wybranego położenia autobusu (43m) w "obszarze pułapki". Brak informacji wyprzedzającej sprzyja istnieniu "obszaru pułapki". Obliczenia przeprowadzono dla wybranych zmieniających się wartości prędkości a także czasów: reakcji kierującego oraz narastania siły hamowania. Wybrane wartości wejściowe mają pokazać, jakie rezultaty otrzymamy analizując zjawisko w skrajnych warunkach. W pogłębionych badaniach należy przeprowadzić szeroką analizę wpływu parametrów na przebieg zjawiska.

Tab. 1. Dane do obliczenia wartości drogi zatrzymania przy założonym dopuszczalnym opóźnieniu hamowania $a_{dop} = 1,50 \text{ m/s}^2$

L.p.	Dane założone				Obliczone
	t_{rk} [s]	V_p [km/h]	t_{nh} [s]	a_{dop} [m/s ²]	S_z [m]
1.	1,20	50,0	0,40	1,50	83,8
2.	0,80	50,0	0,10	1,50	76,1
3.	1,20	60,0	0,40	1,50	119,9
4.	0,80	60,0	0,10	1,50	106,8

Tab. 2. Dane do obliczenia wartości opóźnienia przy założonym początkowym położeniu autobusu $S_z = 43\text{m}$ przed sygnalizatorem

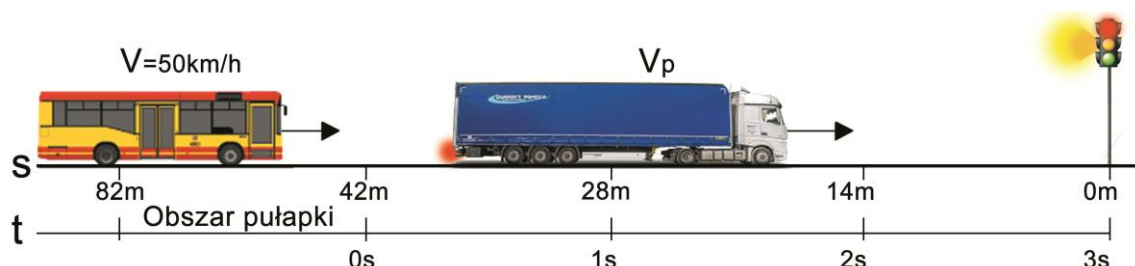
L.p.	Dane założone				Obliczone
	t_{rk} [s]	V_p [km/h]	t_{nh} [s]	S_z [m]	a [m/s ²]
1.	1,20	50,0	0,40	43,0	4,10
2.	0,80	50,0	0,10	43,0	3,10
3.	1,20	60,0	0,40	43,0	7,01
4.	0,80	60,0	0,10	43,0	4,82

Obliczone wartości długości drogi zatrzymania w tab.1, znacznie przekraczają wartości długości drogi przebytej w trakcie 3s sygnału żółtego. Podobnie w tab. 2, obliczone wartości opóźnień w trakcie hamowania autobusu, znacznie przekraczają ich dopuszczalne wartości. Powyższe obliczenia mogą i powinny stanowić podstawę do wnioskowania o zmianę przepisów prawa w celu zmniejszenia niebezpieczeństw w eksploatacji pojazdów.

Przepisy prawa powinny określać dla nich ramy uwzględniające uwagi płynące z badań prowadzonych na eksploatowanych w ruchu drogowym autobusach.

3.1. Inny możliwy scenariusz - analiza

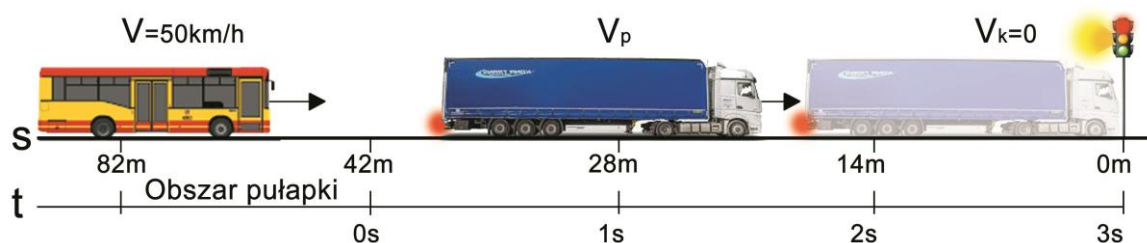
Jest również możliwy scenariusz, gdy przed autobusem miejskim (przy sygnale żółtym) jedzie długi pojazd przed nim i zatrzymuje się przed sygnalizatorem (Rys. 3 i 4).



Rys. 3. Schemat "pułapki" dla autobusu miejskiego i długiego pojazdu przed nim, na skrzyżowaniu przy wyświetlanym sygnale żółtym, V_p – początkowa wartość prędkości zespołu pojazdów

Ciągnik siodłowy z naczepą (16,5m) lub samochód ciężarowy z przyczepą (18,75m) podczas gwałtownego nagłego hamowania mogą uzyskiwać duże opóźnienia nawet do wartości $a = 8 \text{ m/s}^2$. Wówczas droga zatrzymania zespołu pojazdów jest radykalnie krótsza. Jest jednocześnie możliwa do realizacji w czasie trwania sygnalu żółtego [6, 7]. W odróżnieniu od autobusu wartości opóźnień dla takiego zespołu są limitowane wyłącznie stanem nawierzchni i wartością współczynnika tarcia opony o jezdnię. Taka sytuacja dodatkowo pogarsza istniejącą już sytuację omawianego przypadku.

Długi zestaw pojazdów jadący przed autobusem może hamować gwałtownie. Zajmie wówczas część dystansu przed sygnalizatorem i tym samym ograniczy potencjalną wartość drogi zatrzymania autobusu. W tej sytuacji, kierujący autobusem nie ma możliwości wjazdu za sygnalizator, nawet po zapaleniu się sygnalu czerwonego. Aby uniknąć najechania na poprzedzający zespół pojazdów, konieczne będzie wywiązania znacznie większych opóźnień autobusu niż dopuszczalne.



Rys. 4. Schemat "pułapki" dla autobusu miejskiego przy sygnale żółtym i długiego pojazdu przed nim, zatrzymującego się przed sygnalizatorem, V_k – końcowa wartość prędkości zespołu pojazdów

Ciągnik siodłowy z naczepą, zatrzymany przed sygnalizatorem pomniejsza drogę możliwą do wykorzystania przez hamujący autobus (Rys. 4). W skrajnej sytuacji, autobus

będący w obszarze pułapki musi zwiększyć opóźnienie przy hamowaniu. Może to powodować zwiększenie ciężkości obrażeń pasażerów tego autobusu. Wybrane przykłady pokazują istnienie problemu w eksploatacji autobusów. Konieczne jest przeprowadzenie pogłębionych analiz i zaproponowanie stosownych zmian.

4. Analiza wyników badań

Obecnie obowiązujące przepisy zastosowane na skrzyżowaniu powodują sytuację, w której pojawia się strefa dylematu [7]. Ponadto wprowadzanie obowiązku rejestracji kamerami zdarzeń na skrzyżowaniu spowoduje, że zostanie nagrany wjazd autobusu za sygnalizator po nadaniu sygnału czerwonego. A zatem kierujący autobusami miejskimi transportu publicznego, będą musieli się bezwzględnie stosować do przepisów. Może to wymusić na nich hamowanie autobusu z opóźnieniami znacznie przekraczającymi wartości dopuszczalne. Alternatywą będzie ukaranie mandatem za przejazd na czerwonym sygnale. Natomiast gwałtowne hamowanie będzie powodować możliwość wystąpienia urazów u pasażerów podróżujących w pozycji stojącej. Rozważany tutaj problem, obecnie nie jest dostrzegany przez odpowiedzialnych za system bezpieczeństwa w eksploatacji autobusów. Ponieważ teraz nie są rejestrowane powszechnie wjazdy (po zapaleniu się sygnału czerwonego). Kierujący autobusami, zaskoczeni zmianą sygnału, zamiast nagle gwałtownie hamować, wjeżdżają na skrzyżowanie na sygnale "czerwonym". Powodowane jest to, niezauważaniem takich zdarzeń oraz dotychczasową bezkarnością takiego postępowania.

5. Podsumowanie i wnioski

Postęp techniczny i rozwój urządzeń stwarzają szansę na stosowanie w autobusach i infrastrukturze drogowej rozwiązań wspomagających prowadzenie autobusu w omawianym zakresie. Przepisy prawa powinny określać dla nich ramy uwzględniające uwagi płynące z badań prowadzonych na eksploatowanych w ruchu drogowym autobusach.

W niektórych miastach na skrzyżowaniach są zainstalowane na sygnalizatorach wyświetlacze czasu trwania sygnału. Są, ale tylko na skrzyżowaniach ze sterownikami stało czasowymi. Pomagają kierującym podejmować właściwą decyzję - bez sytuacji dylematu. Jest to forma przekazu informacji wyprzedzającej, bardzo potrzebna i przydatna w takich sytuacjach. Poprawia to system bezpieczeństwa uczestników ruchu drogowego.

Jednak obecnie powszechna modernizacja skrzyżowań i wymiana sterowników na zmienno czasowe (akomodacyjne) uniemożliwiają stosowanie wyświetlaczy czasu w dotychczasowej formule. Dzieje się to niestety zgodnie z obowiązującymi przepisami w tym zakresie. Oczywiście wydaje się, że obecne przepisy sprzyjają powodowaniu kolizji i wypadków. Powinny zostać zmienione, opracowane na nowo i zapisane w obowiązującym prawie. Kierujący, eksploatując autobusy w ruchu drogowym, powinni być wspomagani przez odpowiednio dostosowane przepisy. Ponadto konieczne jest zastosowanie urządzeń technicznych umożliwiających przekazywanie informacji wyprzedzającej. Widoczny ogromny postęp techniczny i rozwój urządzeń to umożliwia.

Bibliografia

1. Chloe J.Robbins, Harriet A.Allen, PeterChapman; Comparing drivers' gap acceptance for cars and motorcycles at junctions using an adaptive staircase methodology,Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour Volume 58, October 2018, Pages 944-954,<https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.07.023>.

2. Convention on Road traffic, done at Vienna on 8 november 1968, Economic Commission for Europe, Inland Transport Committee,/CONF.56/16/Rev.1/Amend.1.
3. Convention on road signs and signals, done at Vienna on 8 november 1968, United Nations Publication, Sales No. E.07.VIII.7, ISBN: 978-92-1-116973-7.
4. Gowri Asaithambi, Venkatesan Kanagaraj & Tomer Toledo; Driving Behaviors: Models and Challenges for Non-Lane Based Mixed Traffic,Transportation in Developing Economies volume 2, Article number: 19 (2016) Published: 24 August 2016,<https://link.springer.com/article/10.1007/s40890-016-0025-6>.
5. Peter T. Savolainen, Anju Sharma, Timothy J. Gates, Driver decision-making in the dilemma zone – Examining the influences of clearance intervals, enforcement cameras and the provision of advance warning through a panel data random parameters probit model. Accident Analysis and Prevention 96(2016)351-360, ELSEVIER.
6. Wang, J., Liu, R. and Montgomery, FO. (2005) A simulation model of motorway merging behaviour. In Mahmassani, H. (Ed) Transportation and Traffic Theory: Flow, Dynamics and Human Interaction (ISTTT) Elsevier, ISBN 0-08-044680-9. pp 281-302.
7. Yaping Zhang, Chuanyun Fu, Liwei Hu, Yellow light dilemma zone researches: a review, Journal of Traffic and Transportation Engineering(English Edition) 2014,1(5) : 338-352.