

Krzysztof Olejnik, Marcin Łopuszyński, Gabriel Nowacki, Bartosz Zakrzewski

Sterowanie sygnalizacją świetlną w celu szybkiego przejazdu pojazdów ratowniczych w akcji – potrzeby zmian w sterowaniu ruchem w miastach

JEL: R41, L96. DOI: 10.24136/atest.2018.330.

Data zgłoszenia: 24.07.2018. Data akceptacji: 10.08.2018.

W artykule omówiono problematykę przejazdu pojazdów ratowniczych – uprzywilejowanych w akcji – w obszarach miejskich ze skrzyżowaniami sterowanymi sygnalizacją świetlną. Stosowane rozwiązania mają zapewnić przejazd w możliwie krótkim czasie przy jednoczesnym ograniczeniu ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych. Sygnalizacja świetlna na skrzyżowaniach daje możliwość wykorzystania jej do utworzenia drogi uprzywilejowanego pojazdu ratowniczemu. Szybka zmiana sygnałów sterowania na skrzyżowaniu (torująca drogę przejazdu) musi uwzględniać ograniczenia wynikające z długiej drogi zatrzymania (i tym samym długiego czasu) pojazdów komunikacji miejskiej w transporcie publicznym. Odpowiednio wcześniej wygenerowana informacja wyprzedzająca pozwoli (w sposób niezagrażony urazami dla pasażerów) na zatrzymanie przed skrzyżowaniem autobusu, tramwaju, trolejbusu. Istniejące koncepcje nie uwzględniają potrzeby generowania informacji wyprzedzającej w sterownikach sygnalizacji świetlnej, wynikającej z ograniczeń przy zatrzymaniu pojazdu komunikacji miejskiej. W artykule przedstawiono koncepcję wprowadzenia informacji wyprzedzającej w trakcie tworzenia wolnej drogi dla pojazd ratownictwa.

Słowa kluczowe: ratownictwo, szybki dojazd, informacja wyprzedzająca.

Wstęp

W Polsce, pomimo spadku liczby wypadków drogowych i ich ofiar, poziom bezpieczeństwa jest bardzo niski. Wskutek wypadków na drogach ginie rocznie ponad 3 tys. osób, a ok. 40 tys. zostaje rannych [1]. Udzielenie skutecznej pomocy wymaga sprawnego działania służb ratowniczych. W nagłych wypadkach, aby ratować ludzkie życie i zdrowie czy też chronić mienie, liczy się każda sekunda. Ratownictwo jest więc dziedziną, w której transport

i dobra logistyka odgrywają ogromne znaczenie ze względu na minimalizowanie strat [4].

Wzrastająca liczba jednostek działających w ramach Krajowego Systemu Ratowniczo-Gaśniczego (KSR-G) oraz Państwowego Ratownictwa Medycznego (PRM) powoduje zmniejszanie się czasu potrzebnego na dojazd służb ratowniczych do miejsca wypadku. W 2004 r. jednostki KSR-G dojeżdżały w czasie do 15 min do 85% zdarzeń drogowych. W 2013 r. czas ten dotyczył już 92% zdarzeń [6].

Pojazdy uczestniczące w akcji ratunkowej muszą przybyć na miejsce zdarzenia tak szybko, jak to możliwe, unikając jednocześnie zdarzeń niepożądanych. Nie powinny narażać innych użytkowników dróg i najlepiej by było, gdyby nie spowalniały przejazdu, tzn. aby czekanie na wolny tor ruchu nie trwało dłużej niż jest to konieczne. Istnieją systemy sterowania ruchem w miastach, które biorą to pod uwagę. Sygnalizacja świetlna trójbarwna, na skrzyżowaniach ujęta w system centralnego sterowania ruchem miejskim, daje możliwość wykorzystania jej do tworzenia przejazdu uprzywilejowanego pojazdowi ratownictwa [2, 3]. Przewożące ludzi pojazdy funkcjonujące w ramach transportu publicznego (gdzie dopuszcza się pozycję stojącą pasażerów) mają ograniczenia w trakcie hamowania (rys. 1). Opóźnienia przy zatrzymywaniu pojazdu nie powinny przekraczać wartości $1,5 \text{ m/s}^2$. Wówczas pasażerowie w minimalnym stopniu są narażeni na przewrócenie się i doznanie urazów.

Projekt firmy Siemens AG

Jednym z rozwiązań wykorzystujących sterowanie sygnalizacją świetlną na skrzyżowaniach jest projekt firmy Siemens AG Infrastructure & Cities Sector Mobility and Logistics Division Road and City Mobility, noszący nazwę *Sitrafic Stream* – satelitarny system *priorytetów* [9]. Opracowany i oferowany przez firmę Siemens AG system opiera się na takim sterowaniu ruchem w ukła-



Rys. 1. Schemat scenariuszy przed skrzyżowaniem w układzie czasoprzestrzennym [5]

dzie dróg ze skrzyżowaniami sterowanymi sygnalizacją świetlną, aby stworzyć wolny przejazd dla samochodu ratowniczego. Odpowiednie urządzenia wykrywają zbliżający się pojazd ratowniczy przed skrzyżowaniem i przesyłają sygnał do sterownika sygnalizacji w celu automatycznego przełączenia sygnalizatora na zielony. System *Sitraffic Stream* wykorzystuje technologię nawigacji satelitarnej. Jej funkcjonowanie nie wymaga budowy rozległych i kosztownych instalacji przydrożnych.

W ramach tego rozwiązania każdy pojazd ratowniczy jest wyposażony w specjalne urządzenie – jednostkę pokładową (OBU – *On Board Unit*) ze zintegrowanymi odbiornikami GPS i GPRS. OBU wykorzystuje GPS do precyzyjnego określenia aktualnej pozycji pojazdu. Natomiast GPRS jest wykorzystywany do przesyłania danych pozycjonowania pojazdu ratowniczego, a także do identyfikacji przejścia jednego ze zdefiniowanych punktów wykrycia pojazdu i przesłania do centrum kontroli ruchu. Centrum sterowania jest odpowiedzialne za kolejne przełączanie sygnalizatorów na zielone na trasie przejazdu dla zbliżającego się do skrzyżowania pojazdu ratowniczego. Dane dotyczące pozycjonowania są bardzo precyzyjne; średnio niedokładność określenia lokalizacji nie przekracza 5 m.

Wcześniejsze rozwiązania opierały się na narzucaniu specjalnych (wcześniej zdefiniowanych) tras przejazdu pojazdów uprzywilejowanych. Dla tych rozwiązań nie było możliwe śledzenie aktualnej pozycji pojazdu w czasie rzeczywistym. Tworzenie wolnego toru poprzez wyświetlanie zielonej barwy na sygnalizatorze wzdłuż wybranej trasy było uruchamiane w ustalonych odstępach czasu. Brakowało koordynacji z rzeczywistym przemieszczaniem się pojazdu. Powodowało to występowanie długich faz blokujących, trwających od 3 do 5 min, na każdym skrzyżowaniu wcześniej zdefiniowanej drogi przejazdu. Znacząco blokowało to ruch drogowy w tych rejonach, szczególnie wówczas, gdy taka sytuacja miała miejsce w godzinach szczytu komunikacyjnego.

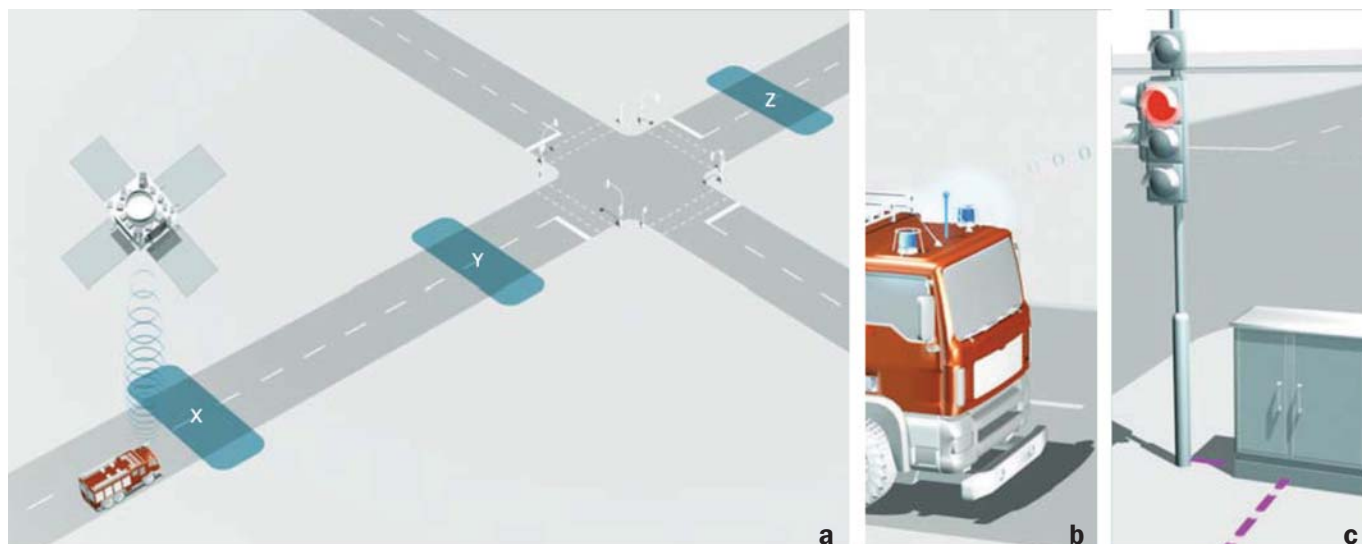
Nowsze rozwiązanie, *Sitraffic Stream*, pozwala na bieżące lokalizowanie i śledzenie każdego będącego w systemie pojazdu ratowniczego. W momencie, kiedy pojazd ratownictwa mija punkt rejestracyjny przed skrzyżowaniem, centrum sterowania ustawia światło na zielone na czas jego przejazdu. Po przekroczeniu skrzyżowania pojazd „wymeldowuje się”. Automatycznie centrum sterowania uruchamia polecenie powrotu pracy sygnalizatorów do dotychczasowego programu pracy sterownika. Czas

ingerencji systemu w zmianę pracy sterownika na skrzyżowaniu zazwyczaj nie trwa dłużej niż 40 s. Punkty rejestracji są funkcją opartą wyłącznie na oprogramowaniu i nie wymagają dodatkowej infrastruktury drogowej. Sterowniki sygnalizacji świetlnej na skrzyżowaniu mogą pozostać takie, jakie są. Dodatkowe urządzenia sprzętowe do komunikacji nie są wymagane do tego, aby móc korzystać z *Sitraffic Stream*, ponieważ pojazdy są wyposażone we własne urządzenia, które pozwalają na komunikację bezpośrednio z centrum sterowania. System przekazuje odpowiednie informacje z centrum do sterowników sygnalizacji świetlnej za pośrednictwem istniejących łączy telekomunikacyjnych.

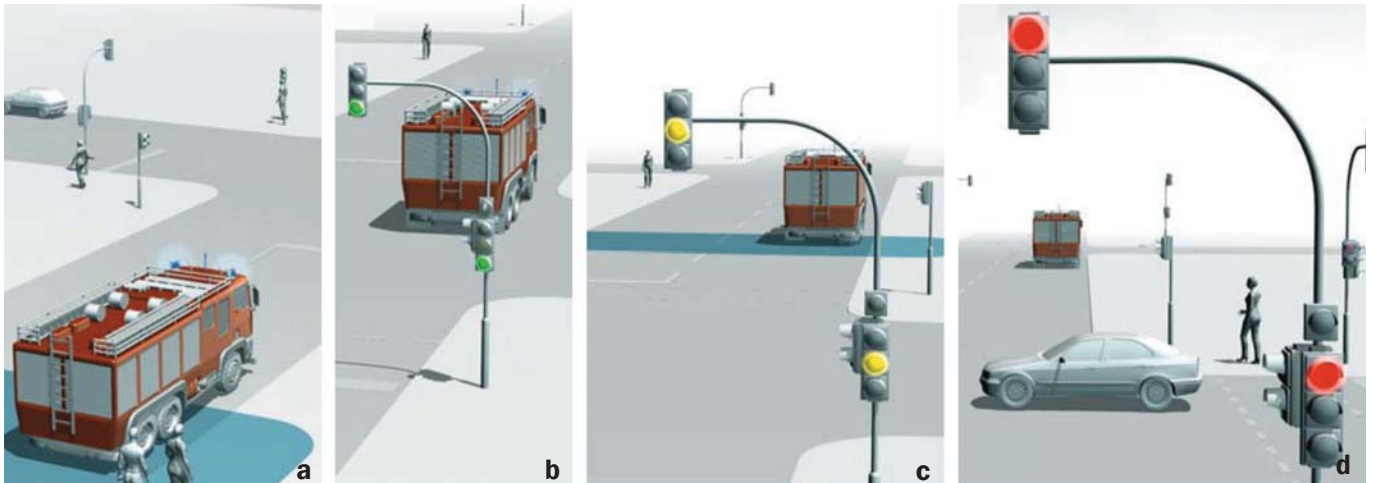
Opis funkcjonowania systemu

Dla każdego skrzyżowania w zintegrowanym systemie na poziomie oprogramowania sterownika zdefiniowane są 2 punkty rejestracji w odległości X i Y przed skrzyżowaniem, a także punkt oznakowania Z [8]. Ponieważ *Sitraffic Stream* opiera się na nawigacji satelitarnej (porównywalnej z funkcjonowaniem satelitarnych systemów opłat), nie są wymagane tu żadne specjalne przydrożne urządzenia (rys. 2a). Urządzenie pokładowe zainstalowane w pojeździe wykorzystuje nawigację satelitarną (GPS) do identyfikacji pierwszego punktu rejestracji i wysyła komunikat „Przekazany punkt rejestracji wstępnej X” na radio mobilne (GPRS) do centrum kontroli ruchu (rys. 2b). Centrum sterowania wysyła do sterownika sygnalizacji na skrzyżowaniu komunikat „Zbliży się pojazd ratunkowy” wraz z poleceniem przełączenia świateł sygnalizacyjnych na zielony po określonym przedziale czasu lub, w zależności od przypadku, przedłużenia aktualnej fazy zielonej, by pozwolić pojazdowi przejechać bez konieczności zatrzymywania się (rys. 2c).

Do czasu, w którym pojazd przejedzie przez drugi punkt rejestracji, światło już zmienia kolor na zielony lub otrzymuje polecenie pozostania zielonym tak długo, aż pojazd dotrze do skrzyżowania (rys. 3a) [8]. Pojazd ratowniczy może szybko i bezkolizyjnie przejechać przez skrzyżowanie, oszczędzając cenne sekundy bez dużego ryzyka wypadku lub kolizji dla innych użytkowników dróg (rys. 3b). Kilka metrów za skrzyżowaniem pojazd ratowniczy mija punkt wyjazdu. Urządzenie pokładowe rozpoznaje ten punkt za pomocą nawigacji satelitarnej i wysyła telegram „Zezwolenie na punkt startowy Z” do centrum sterowania ruchem. Centrum przekazuje sterownikowi skrzyżowania, aby powrócił do zwykłego



Rys. 2. Schemat funkcjonowania systemu – dojazd do skrzyżowania [10]



Rys. 3. Schemat funkcjonowania systemu – przejazd przez skrzyżowanie [10]

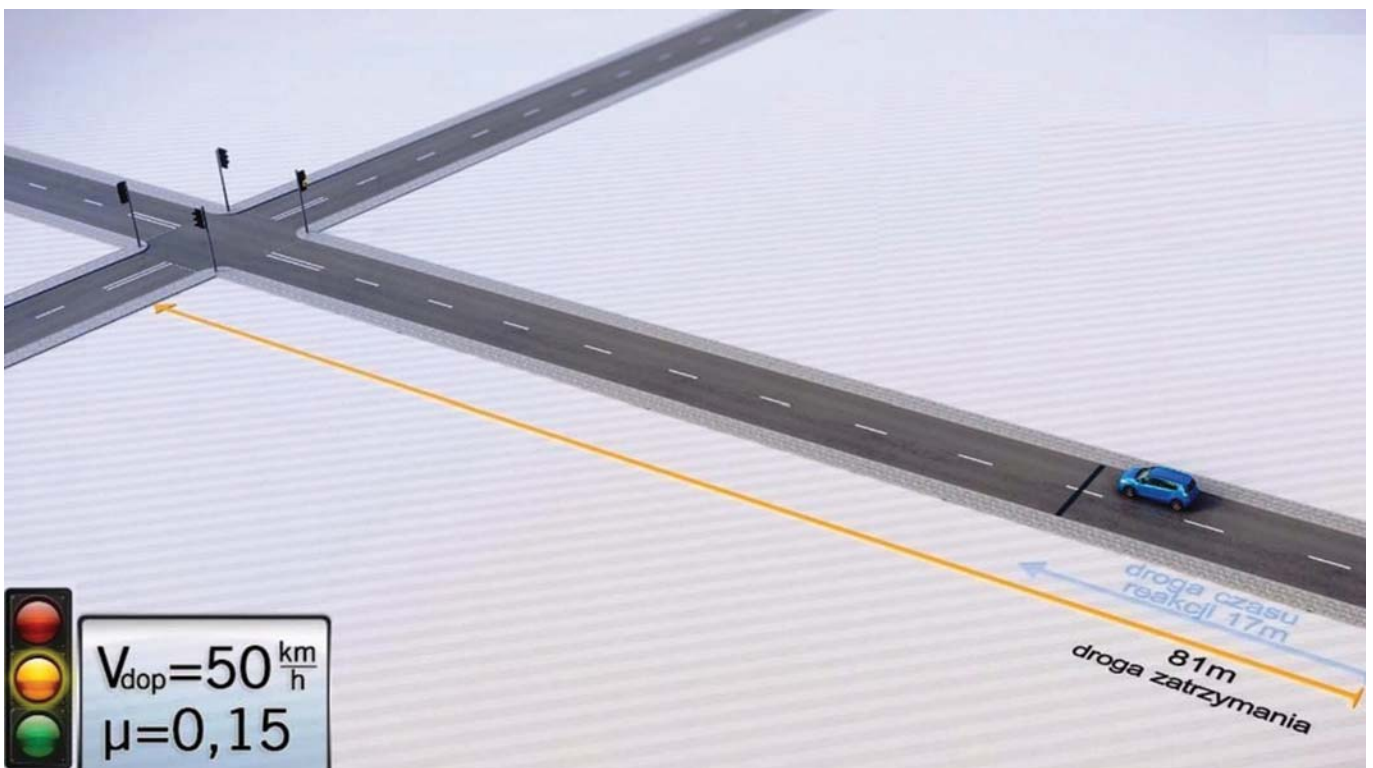
programu sterowania sygnalizacją świetlną (rys. 3c). W efekcie system powraca do normalnej pracy natychmiast po opuszczeniu przez pojazd ratowniczy skrzyżowania. Na wlotach wszystkich pasów ruchu można uruchomić normalne sterowanie. Ingerencje *Sitraffic Stream* w sterownik są ograniczone do kilku sekund, więc wpływ na innych użytkowników dróg pozostaje minimalny (rys. 3d).

Zapewnienie niezagrażonego i szybkiego przejazdu pojazdów ratowniczych jest jednym z głównych zadań *Sitraffic Stream* [8]. Jednak dostępne opcje dokładnego pozycjonowania i śledzenia poszczególnych pojazdów oraz czysto programowa definicja wymaganych punktów odniesienia w sieci drogowej zapewniają również dodatkowe funkcje. System może być na przykład wykorzystywany do realizacji schematu priorytetów magistrali, w tym dynamicznych informacji o pasażerach, rejestrowania i analizo-

wania profili podróży lub wdrażania funkcji kontroli dostępu dla konkretnych obszarów.

Informacja wyprzedzająca

Dla pojazdów transportu miejskiego komunikacji publicznej, uczestniczących w ruchu drogowym, kolizyjnym, w stosunku do uprzywilejowanych pojazdów ratownictwa, konieczne jest wprowadzenie informacji wyprzedzającej. Pojazdy transportu publicznego (autobusy, tramwaje, trolejbusy) przewożące ludzi w komunikacji miejskiej (gdzie dopuszcza się pozycję stojącą pasażerów) mają ograniczenia w trakcie hamownia pojazdu. Opóźnienia przy zatrzymywaniu takiego pojazdu nie powinny przekraczać wartości $a \leq 1,5 \text{ m/s}^2$. Wówczas znajdujący się w nim pasażerowie w minimalnym stopniu będą narażeni na doznanie urazów wynikłych z ewentualnego przewrócenia się. Powstające przy takich



Rys. 4. Schemat drogi zatrzymania pojazdu hamującego z opóźnieniem o wartości $a = 1,5 \text{ m/s}^2$

opóźnieniach wartości sił są na tyle małe, że pasażerowie są w stanie utrzymać pozycję pionową. Większe wartości opóźnień wywołują znacznie większe siły uniemożliwiające zachowanie równowagi osób stojących w takim środku transportu.

Droga zatrzymania dla takiego pojazdu (przy hamowaniu oraz o tak ograniczonym opóźnieniu) wynosi około $S_z = 81$ m. Aby autobus zatrzymał się przed sygnalizatorem, kierujący nim powinien na co najmniej $t = 6$ s przed zapaleniem się sygnału czerwonego otrzymać informację o rozpoczęciu hamowania. Podobna sytuacja występuje w przypadku samochodów osobowych przy dużej śliskości jezdni, kiedy to współczynnik tarcia osiąga wartość $\mu = 0,15$ (rys. 4). Wówczas opóźnienie przy hamowaniu ma wartość ok. $a = 1,5$ m/s².

W sterowniku sygnalizacji świetlnej tego skrzyżowania powinien zostać wygenerowany sygnał wyprzedzający nadanie sygnału czerwonego dla kierunków kolizyjnych (w stosunku do pojazdu ratownictwa). Wyprzedzenie powinno być takie, aby zatrzymywany pojazd komunikacji zbiorowej, nie narażając pasażerów na przewrócenie się, zatrzymał się przed skrzyżowaniem. Problem potrzeby wygenerowania informacji wyprzedzającej istnieje obecnie dla normalnego ruchu w sterowaniu sygnalizacją świetlną. Stosowane w niektórych miastach na skrzyżowaniach wyświetlacze czasu pozostającego do zakończenia wyświetlanego sygnału spełniały rolę urządzeń podających informację wyprzedzającą. Zmienione przepisy dotyczące znaków i sygnałów drogowych zakazują stosowania wyświetlaczy w instalacjach zmiennoczasowych [7]. Sterowniki stałoczasowe na modernizowanych skrzyżowaniach są zastępowane zmiennoczasowymi – adaptacyjnymi. W związku z powyższym sygnalizatory te są pozbawiane wyświetlaczy czasu. Kierujący autobusami, tramwajami, trolejbusami wyrażają swoje niezadowolenie. Przeprowadzane badania wskazują na potrzebę dostarczenia informacji wyprzedzającej, szczególnie dla tych uczestników ruchu drogowego.

Podsumowanie i wnioski

Obserwowany postęp techniczny i rozwój urządzeń stwarzają nowe możliwości ich zastosowania. Rozwój telematyki pozwala rozważać takie sterowanie sygnalizacją świetlną na skrzyżowaniach, aby dawała ona priorytet dla pojazdów ratownictwa. Uzyskujemy wówczas skrócenie czasu przybycia pojazdu ratownictwa. Ponadto niezwykle ważne jest zmniejszenie zagrożeń wystąpienia zdarzeń niepożądanych, związanych z przejazdem pojazdu uprzywilejowanego uczestniczącego w akcji ratowniczej. Należy także brać pod uwagę ograniczenia wynikające z długiej drogi zatrzymania pojazdów przewożących ludzi w miejskim transporcie publicznym. Dotyczy to także wszystkich uczestników ruchu przemierzających trasę w złych warunkach atmosferycznych – duża śliskość jezdni powoduje wydłużenie drogi zatrzymania. Wprowadzenie informacji wyprzedzającej powinno być priorytetem dla ministra odpowiedzialnego za transport. Jest to działanie na rzecz poprawy systemu bezpieczeństwa uczestników ruchu drogowego.

Bibliografia:

1. Dyr T., Ziółkowska K., Jażdżik-Osmólska A., Kozłowska M., *Economic safety aspects of the road traffic in Poland*, „Central European Review of Economics & Finance” 2017, Vol. 21, No. 5.
2. Łopuszyński M., *Algorytmy sterowania acykliczną sygnalizacją świetlną w zatłoczonej sieci drogowej* [rozprawa doktorska],

Politechnika Opolska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Opole 2012.

3. Łopuszyński M., Miłaszewicz B., *Modelowanie ruchu pojazdów przez poprzeczny przekrój drogi dla celów symulacyjnych*, [w:] Staniewska E., Górska M. (red.), *Doskonalenie procesów produkcyjnych i logistycznych: praca zbiorowa*, Wydział Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2013.
4. Olejnik K., *Bezpieczeństwo w transporcie samochodowym – wybrane problemy*, Wydawnictwo ITS, Warszawa 2009.
5. Olejnik K., Łopuszyński M., Koszałka G., Grecik J., *Behavior of vehicle drivers while approaching an intersection after the traffic light signal changes from green to yellow*, 11th International Scientific and Technical Conference on Automotive Safety Location: Častá – Papiernička, Slovakia, Apr 1–20, 2018.
6. Płachecka M., *Efekty działań na rzecz poprawy bezpieczeństwa w transporcie publicznym w Polsce*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2016, nr 10.
7. Rozporządzenie MI (Dz. U. Nr 43/99, poz. 430) w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie.
8. Siemens AG Infrastructure & Cities Sector Mobility and Logistics Division Road and City Mobility Hofmannstrasse 51, 81379 Munich Germany.
9. *Sittraffic Stream* – our satellite-based prioritization system, Siemens AG 2014.
10. www.siemens.com (dostęp: 12.04.2018 r.).

Control of traffic lights for the fast passage of rescue vehicles in action – the need for changes in traffic control in cities

The article discusses the problem of passing emergency rescue vehicles in action in urban areas with intersections controlled by traffic lights. Fast travel is necessary while striving to minimize the possibility of adverse events. Traffic lights at intersections give the opportunity to use it to pave the free road for the passage of a privileged emergency vehicle. The quick change of control signals at the intersection (paving the way) must take into account the limitations resulting from the long stop (and thus long time) of public transport vehicles in public transport. Properly generated advance information will allow (in a way not threatened with injuries to passengers) to stop before crossing the bus, tram, trolley bus. The existing concepts do not take into account the need to generate advance information in traffic lights controllers resulting from the restrictions on the stop of a public transport vehicle. The article presents the concept of introducing advance information during the creation of a free road for a rescue vehicle.

Keywords: rescue, quick access, advance information.

Autorzy:

dr hab. inż. **Krzysztof Olejnik**, prof. nadzw. PO – Politechnika Opolska, Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki
 dr inż. **Marcin Łopuszyński**, adiunkt – Politechnika Opolska, Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki
 dr hab. inż. **Gabriel Nowacki**, prof. nadzw. WAT – Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Cybernetyki
 dr **Bartosz Zakrzewski**, adiunkt – Instytut Transportu Samochodowego, Sekcja Informacji Naukowej i Wydawnictw