

Bezpieczeństwo i niezawodność przewozu osób autobusami w zintegrowanym systemie zarządzania ruchem i transportem publicznym miasta – analiza literatury

JEL: R41 DOI: 10.24136/atest.2018.392

Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

Artykuł analizuje strategie rozwoju logistyki miasta i jego transportu publicznego w tym komunikacji autobusowej. Dokonano analizy statystycznej dla całego transportu drogowego w Unii Europejskiej (UE). Zamieszczono najważniejsze przyczyny tragicznych wypadków drogowych w Polsce. Analizowano kluczowe elementy bezpieczeństwa czynnego i bezpieczeństwa biernego autobusów i bezpieczeństwa na drodze. Scharakteryzowano kluczowe wskaźniki bezpieczeństwa ruchu drogowego w UE oraz prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń drogowych autobusów. Analizowano wpływ transportu drogowego na ekologię miasta pod kątem wielkości emisji spalin dla autobusów różnej konstrukcji jak i emisji innych zanieczyszczeń.

Słowa kluczowe: system zarządzania ruchem, transport publiczny, bezpieczeństwo transportu miejskiego, ekologia transportu miejskiego.

Wstęp

Zintegrowany system zarządzania ruchem i transportem publicznym miasta to zwykle projekt: przebudowy dróg i skrzyżowań, zakupu nowych autobusów oraz systemów infrastruktur informatycznych, telekomunikacyjnych, kanalizacji teletechnicznej, specjalizowanych kontrolerów sterujących ruchem i kamer monitoringu często z funkcją rozpoznania tablic rejestracyjnych oraz tablic o zmiennej treści. Niezbędne jest także centrum danych pracujące na nowoczesnym oprogramowaniu i serwerach odpowiadające za komunikację i wizualizację stanu ruchu w mieście [1, 2].

Zwykle inteligentny systemy transportowy, ITS (Intelligent transportation systems) ma podsystemy urządzeń teleinformatycznych radiowego kanału transmisyjno-informacyjnego rozlokowane w mieście, które komunikują się z pozostałymi podsystemami za pomocą stworzonej w tym celu sieci, często światłowodowej [24]. Kolejny podsystem ITS to oprogramowanie przeznaczone do kontroli urządzeń, zarządzania informacją - jej rejestrowania i przekazywania na najwyższą warstwę. Podsystem warstwy najwyższej to użytkownicy i aplikacje stworzone z myślą o wspomaganie zarządzaniem ruchem. Istnieje wówczas możliwość bieżącego monitorowania stanu miejskiego ruchu, jego optymalizacji, wglądu w stan skrzyżowań, kontrolowania wjazdów na czerwonym świetle, zdalnego zmieniania programów sygnalizacji i wiele innych [5].

W Polsce ochrona środowiska i koncepcja zrównoważonego rozwoju ma rangę konstytucyjną [26]. Rozdział 1, Artykuł 5 Konstytucji Rzeczypospolitej Polskiej ma treść - Rzeczpospolita Polska strzeże niepodległości i nienaruszalności swojego terytorium, zapewni wolności i prawa człowieka i obywatela oraz bezpieczeństwo obywateli, strzeże dziedzictwa narodowego oraz zapewni ochronę środowiska, kierując się zasadą zrównoważonego rozwoju.

Celem zintegrowanego rozwoju logistycznego miasta jest często: redukcja liczby samochodów osobowych i towarowych o napę-

dzie konwencjonalnym, poprawa efektywności transport towarowego, zachęcanie mieszkańców do korzystania ze środków transportu publicznego (zbiorowego) oraz ograniczenie zużycia energii i kosztów.

1. Badania literaturowe

W projektach zrównoważonego rozwoju transportu miast i gmin dużą uwagę przykładają się do usuwania niedoborów przepustowości w działaniu najważniejszej infrastruktury sieciowej oraz wspierania przejścia na gospodarkę niskoemisyjną we wszystkich sektorach transportu [27, 46]. Także duże znaczenie ma strategia logistyczna, uwzględniająca zarówno transport osobowy jak i towarowy oraz informacje z nimi związane, często za pomocą ITS [24]. Głównym założeniem strategii zrównoważonego rozwoju jest dążenie do tego, by systemy transportowe spełniały gospodarcze, społeczne i środowiskowe potrzeby społeczeństwa, przy jednoczesnym zminimalizowaniu ich niekorzystnych skutków dla gospodarki, społeczeństwa i środowiska.

1.1. Inteligentne Systemy Transportowe ITS i ich składowe

Inteligentne Systemy Transportowe ITS to systemy, które stanowią szeroki zbiór różnorodnych technologii (telekomunikacyjnych, informatycznych, automatycznych i pomiarowych) oraz technik zarządzania stosowanych w transporcie w celu ochrony życia uczestników ruchu, zwiększenia efektywności systemu transportowego oraz ochrony zasobów środowiska naturalnego. Ich wprowadzenie w transporcie wymaga opracowania architektury, czyli szeregu powiązań (logicznych, fizycznych i komunikacyjnych) pomiędzy elementami systemów, w celu ich łatwego utrzymania i zarządzania [5].

Inteligentne Systemy Transportowe według ISO TC 204 dzieli się na osiem głównych działów: informacja dla podróżnych, zarządzanie ruchem, wyposażenie pojazdów prywatnych, wyposażenie pojazdów komercyjnych, transport publiczny, ratownictwo, bezpieczeństwo i płatność elektroniczna.

ITS obejmuje i poprawia prawie wszystkie aspekty inżynierii transportu w krajach zmotoryzowanych. Rozwiązuje on problemy związane z ruchem i transportem, za pomocą: systemu zaawansowanej informacji podróżny ATIS (Advanced Traveler Information System), zaawansowanemu systemowi zarządzania ruchem ATMS (Advanced Traffic Management System), zaawansowanemu systemowi transportu publicznemu APTS (Advanced Public Transportation System) oraz systemowi zarządzania nagłymi wypadkami EMS (Emergency Management System).

Systemy zaawansowanej informacji podróżny ATIS wdraża szeroką gamę technologii, takich jak internet, telefony, telefony komórkowe, telewizje, radio i inne [9]. Pomagają podróżującym i kierowcom w podejmowaniu świadomych decyzji dotyczących wyjazdów, optymalnych tras i dostępnych sposobów podróżowania. ATIS zapewnia kierowcom informacje zarówno na trasie jak i przed podróżą. Dostępność informacji przed podróżą zwiększa korzystanie z

autostrad i pozwala osobom dojeżdżającym do pracy na dokonywanie bardziej świadomych wyborów tranzytu. Informacje o trasie i wskazówki oszczędzają czas podróży, pomagają podróżnemu unikać zatłoczenia, mogą też poprawić wydajność sieci ruchu.

Zaawansowany system zarządzania ruchem (ATMS) jest wykorzystywany, jako narzędzie do zarządzania ruchem i kontroli ruchu przez monitorowanie przepływu ruchu i podejmowanie właściwych decyzji w odpowiednim czasie. Systemy zarządzania ruchem optymalizują ruch pojazdów, wykorzystując informacje w czasie rzeczywistym do interweniowania i dostosowywania kontroli, takich jak sygnały ruchu, w celu poprawy przepływu ruchu. Za pomocą ATMS można zarządzać zatłoczeniami ruchem ulicznym na drogach. Może też pomóc poprawić aktualną sytuację transportu publicznego poprzez zmianę harmonogramu i właściwe zarządzanie dostępnymi flotami, aby zachęcić osoby dojeżdżające do korzystania z transportu publicznego aniżeli używanie prywatnego samochodu i roweru.

Zaawansowany system transportu publicznego (APTS) dotyczy zwiększenia wydajności operacyjnej wszystkich środków transportu publicznego i zwiększenia liczby ich pasażerów, dzięki zwiększeniu niezawodności systemu transportowego. Z pomocą APTS zmienia się sposób, w jaki funkcjonują systemy transportu publicznego i zmienia się charakter usług transportowych, które mogą być oferowane przez publiczne systemy transportowe.

Z kolei system zarządzania nagłymi wypadkami EMS zajmuje się głównie zastosowaniem różnych inteligentnych technologii systemów transportowych w celu opracowania skutecznego systemu transportu, który może zapewnić pomoc w sytuacjach awaryjnych. EMS może bardzo pomóc w zmniejszeniu liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych.

Mobilną sieć Ad-Hoc (Mobile Ad-Hoc Network – VANET) definiuje się, jako samoorganizującą się sieć bezprzewodową złożoną z mobilnych węzłów, które nie wymagają stałej infrastruktury. Sieci te mają dostęp do internetu oraz są elementem systemu ITS [2]. Aby zapewnić łączność na większych obszarach, każdy z węzłów musi być węzłem komunikacyjnym i pełnić rolę routera. Te rodzaje komunikacji umożliwiają pojazdom dzielenie się różnymi rodzajami informacji, na przykład: dotyczącymi bezpieczeństwa w celu zapobiegania wypadkom, postępowania powypadkowego, zatorów, informacji dotyczące bezpieczeństwa podróżnych. Celem sieci Ad-Hoc (VANET), jest zapewnienie efektywności transportu, poprawa bezpieczeństwa i złagodzenie skutków zatłoczenia komunikacyjnego. W „pojazdach VANET” samochody są uważane za mobilne platformy czujników, które są w stanie gromadzić dane z ich otoczenia, a następnie przekazują odpowiednie informacje zainteresowanym podmiotom.

1.2. Strategie rozwoju logistyki miasta

Długofalowe kompleksowe i zintegrowane strategie rozwoju logistyki miasta (strategie holistyczne) dotyczą: kongestii, urbanizacji, wspierania rozwoju gospodarczego, migracji ludności, poprawy jakości życia i wzrostu populacji, starzejącego się społeczeństwa, wewnętrznej mobilności, poprawy bezpieczeństwa i ochrony zdrowia, obniżenia poziomu hałasu. Obejmują one także dążenia w kierunku zmniejszenia wpływu transportu na zmiany klimatyczne poprzez: zmniejszenie o połowę liczby samochodów o napędzie stosującym nie-hybrydowe silniki spalinowe w transporcie miejskim do 2030 r., eliminację pojazdów o napędzie konwencjonalnym z miast do 2050 r., osiągnięcie wolnej od emisji CO₂ logistyki w dużych ośrodkach miejskich do 2030 r., zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych o 60% i zanieczyszczeń powietrza pyłem - zwłaszcza o wielkości PM₁₀, innowacyjne konkurencje, zasobooszczędne rozwiązania dla transportu miejskiego, przejście na pełne zastosowanie zasad „użytkownik płaci” i „zanieczyszczający płaci”, uzyska-

nie prawie zerowej liczby ofiar śmiertelnych w transporcie drogowym do 2050; wszystkie powyższe z uwzględnieniem zmian demograficznych [6, 41, 52].

Transport publiczny nie jest regulowany postanowieniami karty praw podstawowych Unii Europejskiej [45]. Między Państwami Członkowskimi UE stosowane są z kolei kompetencje dzielone do transportu kolejowego, drogowego i żeglugi śródlądowej [42]. Transport publiczny winien także zapewnić bezpieczeństwo osobiste pasażerów rozumiane jako brak ryzyka jakiegokolwiek naruszenia nietykalności osobistej lub mienia ze strony innych uczestników [44, 46]. W transporcie miejskim jednym z najważniejszych elementów procesów zarządzania jest kontrola i zapewnienie możliwie najwyższej jakości usługi [19]. Wiążą się one z nadzorowaniem i korygowaniem stanów rzeczy oraz realizowanych procesów w celu zapewnienia ich przyszłej sprawności.

1.3. Bezpieczeństwo przewozu osób autobusami

Statystycznie w UE autobus jest zdecydowanie najbardziej bezpiecznym pojazdem drogowym [1, 19]. Autobus komunikacji miejskiej jest także w Stanach Zjednoczonych bezpiecznym środkiem transportu o znikomym stratach majątkowych operatorów i śmiertelności osób [15]. W miastach UE występuje więcej wypadków autobusów niż w komunikacji autobusowej międzymiastowej [29]. W miastach wydarza się bowiem 69% wypadków drogowych [6, 29]. Łącznie cały transport drogowy to aż 74,4% liczby wypadków śmiertelnych w UE. W Polsce, od 1991 do 2016 roku liczba ofiar śmiertelnych transportu drogowego zmniejszyła się o 60% [20]. Liczba ofiar śmiertelnych wypadków drogowych w Polsce w 2017 roku, w przeliczeniu na 1 mln mieszkańców, to 74 [38]. Największą wartość tego wskaźnika miała Bułgaria, wynosił bowiem 99. Z kolei wskaźnik zabitych na 100 wypadków w Polsce to 9, w 2016 r. Był on najwyższym spośród krajów UE [38]. Spośród wszystkich ofiar śmiertelnych w Europie liczba ofiar wypadków autobusowych i autokarowych wyniosła 0,3-0,5%. W krajach OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) ryzyko osób śmiertelnych lub poważnie rannych było od siedmiu do dziewięciu razy mniejsze, w przypadku pasażerów autobusów i autokarów w porównaniu z pasażerami samochodów. W Wielkiej Brytanii wiek pasażera i manewr autobusu są powiązane ze stopniem ciężkości obrażeń, zarówno dla pasażerów stojących, siedzących jak i wsiadających/wysiadających [28]. Najważniejszymi przyczynami tragicznych wypadków drogowych w Polsce, według Najwyższej Izby Kontroli, są niedostateczna infrastruktura drogowa i jej przystosowanie do obsługiwanego coraz intensywniejszego ruchu samochodowego [18]. Bezpieczeństwo na drogach ogranicza także: zła organizacja ruchu drogowego, brak powszechnego spójnego systemu oddziaływania na bezpieczeństwo w ruchu drogowym i niedostateczne finansowanie. Również zdaniem autorów monografii [16, 43], czynniki drogowe mają największy wpływ na bezpieczeństwo ruchu. Jamroz [21] stwierdza, iż liczba wypadków zależy silnie liniowo od parytetu siły nabywczej, liczby pojazdów oraz pracy przewozowej. Jak wykazano w publikacji [13] bezpieczeństwo ruchu drogowego jest uzależnione od wielu czynników, lecz najistotniejszym z nich jest człowiek. Opublikowane przez Politechnikę Hanowerską wyniki badań bezpieczeństwa transportu publicznego zamyka się stwierdzeniem: prawdopodobieństwo wypadku podczas podróży autobusem jest 39 razy mniejsze w porównaniu z jazdą samochodem, 12,5 razy mniejsze niż w samolocie i 4 razy mniejsze niż w pociągu [30]. Pomimo faktu, że wypadki śmiertelne były częściej spotykane na drogach międzymiastowych, zdecydowana większość wypadków autobusów i autokarów wystąpiła na drogach miejskich w suchych warunkach pogodowych [1]. Wsiadanie i wysiadanie spowodowało około jedną trzecią wszystkich przypadków obrażeń. Zderzenia były głównym

czynnikiem powodującym szkody. Autobusy i autokary najczęściej zderzają się z samochodami. Niebezpieczne zdarzenia z udziałem pojazdów samochodowych w około 1/3 wszystkich przypadków kolizji, to uderzenie w autobus lub autokar. Często zderzenie pojazdów samochodowych z autobusem jest czołowe i prostopadłe (boczne) oraz także w tył autobusu. Wypadki drogowe autobusów są często typu przewrócenie się pojazdu (rollover). Zadaniem Wichtra [47] udział procentowy przyczyn technicznych w wypadkach drogowych jest następujący: zawieszenie 38%, układ jezdny i hamulcowy po 25% oraz układ kierowniczy i inne po 6%.

1.4. Znaczenie konstrukcji autobusu i infrastruktury drogi w zapewnieniu bezpieczeństwa i niezawodności przewozu osób

Bezpieczeństwo autobusu i bezpieczeństwo drogi jest rozpatrywane jak bezpieczeństwo czynne i bezpieczeństwo bierne [34, 42]. Elementami kluczowymi autobusu ze względu na bezpieczeństwo jest układ podwozia i nadwozia [36]. Dane statystyczne wskazują, iż rozwiązanie technologiczne i stan techniczny autobusu ma wpływ na ryzyko wypadku [23]. W publikacji tej nie stwierdzono istotnego związku wieku autobusów z ciężkością wypadku drogowego. Natomiast zwiększony wiek samochodu osobowego jest związany ze zwiększoną ciężkością urazu [25]. Uzasadnia się to faktem, że autobusy są średnio bardziej regularnie obsługiwane niż samochody osobowe. Rosnące wymagania prawne i wymagania klientów dotyczące biernego bezpieczeństwa autobusów muszą być spełnione w warunkach skróconych czasów rozwoju produktu i redukcji kosztów wytwarzania [22]. Zwiększenie odporności autobusu na zdarzenia drogowe dotyczy w pierwszym rzędzie ulepszenia konstrukcji czołowej, ale również jego boków, tyłu jak i dachu. Szerokie spektrum nowych projektów konstrukcyjnych dotyczy wnętrza, zewnętrznego wykończenia, podwozia i napędu. Prowadzone są badania homologacyjne pojazdów w odniesieniu do ochrony osób przebywających w pojeździe w przypadku zderzenia czołowego [39] jak również symulacje, analizy i charakterystyki obciążenia dynamicznego pasażerów [37], deformacji, przemieszczenia struktury dla różnych ich prędkości występujących w zdarzeniach drogowych. Geometryczne, wytrzymałościowe i zmęczeniowe modelowanie struktury autobusu wymaga użycia pakietów CAE (Computer Aided Engineering). Konstrukcje współczesnych autobusów są pod tym względem często niepoprawne [22]. W eksploatacji autobusów chodzi jednak o to, jak ten udział w rozwoju konstrukcji autobusu znajdzie odzwierciedlenie w rzeczywistej poprawie bezpieczeństwa drogowego, w tym redukcji liczby wypadków drogowych [33]. Współczesne samochody są zazwyczaj wyposażone w inteligentne technologie w dziedzinie bezpieczeństwa, co pozwoli uniknąć ryzyka związanego z prowadzeniem pojazdów lub na zminimalizowanie ich skutków w przypadku awarii. Kierowcy, wspierani przez pewną liczbę systemów i technologii mają poczucie bezpieczeństwa, często jednak stosują bardziej ryzykowny sposób prowadzenia pojazdów. Za kluczowe wskaźniki bezpieczeństwa ruchu drogowego w UE uznano te, które dotyczą: alkoholu i narkotyków, prędkości, systemów ochronnych, świateł do jazdy dziennej, budowy samochodu, drogi i zarządzania akcjami pomocowymi [42]. Autobusy muszą być wyposażone w systemy bezpieczeństwa przyjazne osobom niepełnosprawnym [12]. Zdaniem operatorów możliwe jest osiągnięcie wyższych standardów bezpieczeństwa autobusowego transportu publicznego [4, 7]. Wymaga to opracowania skuteczniejszych technologii dotyczących wspomaganie hamowania, zwłaszcza jego początku, automatycznego otwierania drzwi, monitorowania pojazdów, wewnętrznej konstrukcji i architektury autobusu (fotele, poręcze i stopnie) i nowych materiałów. Wykazano, że nieuwaga kierowcy autobusu i zmęczenie, senność, wsiadanie i wysiadanie pasażerów oraz przejścia dla pieszych podczas przesiadki autobusowej są najbardziej

niebezpiecznymi elementami w przewozach autobusowych. Uznano, że systemy wspomaganie hamowania i systemy monitorowania pojazdów są bardzo skuteczne. Wśród menedżerów firm autobusowych nie było jednomyślności, co do skuteczności automatycznego wspomaganie kierowcy w zakresie bezpieczeństwa pasażerów i pieszych. Wprowadzenie nowych technologii było postrzegane jako istotny czynnik poprawiający bezpieczeństwo autobusu. Należy jednak rozwijać lepsze zrozumienie ich rzeczywistej skuteczności i związanego z tym unikania czynników ryzyka. Zapewni to ich użyteczność we flotach autobusowych.

Prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń drogowych autobusów w Melbourne w Australii zostało zmniejszone poprzez przydzielenie mniej doświadczonym kierowcom krótszych i nowszych autobusów i wyznaczenie tras ruchu z priorytetem dla autobusu [17]. Istnieje możliwość polepszenia jakości miejskich usług autobusowych, dzięki ich niezawodności, poprzez zastosowanie odpowiedniej taktyki operacyjnej. Na przykład w Londynie wykorzystano sygnały drogowe i jednoczesne zarządzanie opóźnieniami powodowanymi przez ruch uliczny [10]. Jedną z najważniejszych zalet usługi przewozu wzdłuż sieci publicznej komunikacji autobusowej jest jej niezawodność realizacji [11]. Regularność czasu przebytej drogi w sieci transportowej minimalizuje zmienność i czas oczekiwania pasażerów, poprawiając w ten sposób niezawodność usługi. Strategie kontroli w czasie rzeczywistym, które wyznaczają zalecany czas postoju autobusów na przystankach ze względu na liczbę pasażerów oraz sugerują zachowanie kierowcy w przypadku wykrytych uszkodzeń elementów systemu konstrukcyjnego autobusu pozwalają poprawić poziom usług oferowanych przez miejską komunikację autobusową a także skracają czas podróży i jej zmienność. Zapewniają tym samym lepszą jakość i większą niezawodność usługi przewozu [35]. Bezpieczeństwo dla organizatora transportu publicznego powinno być kluczowym wskaźnikiem jego skuteczności [50]. Sugerowane jest tworzenie kultury organizatora, operatora i przewoźnika transportu publicznego w celu zwiększenia bezpieczeństwa pasażera, komfortu i dostępności. Urazy, głównie słuczenia i niekiedy inne obrażenia, bez wystąpienia zdarzenia drogowego są często niezgłaszane operatorowi przez kierowców autobusów. Właściwa kultura organizacyjna czy korporacyjna winna określić priorytet bezpieczeństwa, jako czynnika jakości, a nie tylko jako kluczowego wskaźnika skuteczności. Priorytetem powinna być poprawa kultury bezpieczeństwa dla wszystkich zainteresowanych stron i zmniejszenie urazów, zwiększenie wykorzystania autobusów oraz podniesienia jakości i komfortu podróży.

1.5. Przewozy autobusowe a zanieczyszczenie środowiska naturalnego miasta

Transport drogowy w mieście odpowiedzialny jest za 40% emisji CO₂ i 70% emisji pozostałych zanieczyszczeń [9, 52]. Komunikacja miejska odpowiada za około jedną czwartą emisji CO₂ z transportu ogółem [14]. Jednak, aby normy emisji zapewniły rzeczywiste redukcje emisji, kluczowe znaczenie ma użycie odpowiedniego cyklu testowego, który odzwierciedla styl jazdy, warunki użytkowania na liniach miejskich w warunkach rzeczywistego ich wykorzystania [32]. Przeprowadzono pomiar związków szkodliwych spalin emitowanych przez autobus konwencjonalny i autobusy hybrydowe (układ napędowy równoległy i szeregowy) firmy Solaris z filtrem cząstek stałych DPF (Diesel Particulate Filter) i selektywną redukcją katalityczną SCR (Selective Catalytic Reduction) [3]. Stwierdzono, że wskaźnik emisyjności CO (tlenku węgla) autobusów hybrydowych jest mniejszy od jedności i znacznie mniejszy niż wskaźnik emisyjności CO autobusu konwencjonalnego Solaris. Wskaźnik emisji dla tlenków azotu NO_x przekracza jednak dopuszczalny limit dla autobusów o napędzie konwencjonalnym (o wartości maksymalnej) 2,5-krotnie i

dla autobusów hybrydowych nawet 4-krotnie. Badania przeprowadzono podczas rzeczywistego ich użytkowania za pomocą mobilnego systemu pomiaru związków szkodliwych w warunkach ruchu miejskiego Poznania, o możliwie najwierniejszym odwzorowaniu rzeczywistej wartości ruchu, zgodne ze średnim obciążeniem linii w mieście. Silniki tych autobusów spełniały rygorystyczną normę EEV (Enhanced Environmentally Friendly Vehicle). W typowym cyklu jazdy autobusem w Pekinie (BJBC), autobusy miejskie napędzane CNG (Compressed Natural Gas) mają wyższe zużycie paliwa od autobusów z silnikami diesla, ale porównywalną emisję CO₂ [14, 51]. Stwierdzone także zmniejszone zużycie oleju napędowego autobusów hybrydowych, jednak ulega ono znacznemu zwiększeniu podczas korzystania z klimatyzacji.

Wnioski

Największym problemem związanym ze zwiększonym wykorzystaniem transportu osób i ładunków jest rosnąca liczba ofiar śmiertelnych z powodu wypadków na drogach. Koszty związane z tym niebezpieczeństwem zostały uznane za poważny problem, przed którym stoi współczesne społeczeństwo [2].

Inteligentny system transportowy ITS to zintegrowany system, który wprowadza szeroki zakres komunikacji, sterowania, detekcji pojazdów i technologii elektronicznych. Jednocześnie system ten wspomaga zarządzanie operacyjne ruchem drogowym i rozwiązywanie problemów transportowych.

Większość systemów ITS została opracowana na platformach GIS (Geographic Information System) lub WWW. Obie platformy mają swoje zalety. Platforma GIS zapewnia bardzo wydajne techniki analizy przestrzennej, podczas gdy platforma WWW okazuje się bardzo przydatna w dostarczaniu informacji w czasie rzeczywistym. Niektóre opracowane systemy wykorzystywały integrację zarówno GIS jak i platform WWW, co pozwala wykorzystać zalety obu platform. Większość opracowanych systemów stosowana jest w transporcie miejskim. Dane GPS są o 50% bardziej wydajne pod względem pracy przewozowej. W literaturze stwierdzono, że dzięki zastosowaniu technologii ATMS czas podróży został skrócony o około 1,9%...29,0%, a średnia częstość zatrzymań zmniejszyła się o około 14,8%...55,9%. Przy użyciu EMS prędkość reakcji w systemie zwiększa się o około 50%, a całkowity czas potrzebny na obsługę zdarzenia awaryjnego został zmniejszony o około 40% w porównaniu z inną tradycyjną metodą.

Technologie ITS pozwalają skutecznie i precyzyjnie dokonywać pomiarów sieci transportowych, a ich wyniki udostępniać w postaci cyfrowej. Dane technologii ITS są poddawane dalszemu przetwarzaniu, analizie przestrzennej i wizualizacji, co realizuje platforma GIS. Wyświetla ona informacje na mapie przy użyciu intuicyjnej palety symboli, co pozwala znacznie lepiej i szybciej rozumieć posiadane dane oraz podejmować na ich podstawie trafne decyzje. GIS jest ważnym elementem ITS.

Intencją rozpowszechniania i udostępniania informacji siecią Ad-Hoc (Mobile Ad-Hoc Network - VANET) jest dostarczenie komunikatu ostrzegającego kierowców o przewidywanych zagrożeniach w celu zmniejszenia liczby wypadków i ratowania ludzkiego życia lub zapewnienia pasażerom przyjemnej podróży.

Statystycznie w UE i USA autobus jest zdecydowanie najbardziej bezpiecznym pojazdem drogowym. Wypadki śmiertelne w autobusach stanowią bowiem w Europie 0,3...0,5% liczby wszystkich stwierdzonych ofiar śmiertelnych. Trzeba także zaznaczyć, że w krajach OECD ryzyko wypadku autobusowego śmiertelnego lub poważnych obrażeń było od siedmiu do dziewięciu razy mniejsze od takiego ryzyka dla samochodów.

Wskaźniki emisyjności są informacją wykorzystywaną w ocenie oddziaływań ekologicznych, także autobusów. Stwierdzony wskaź-

nik emisyjności CO dla autobusów hybrydowych jest mniejszy od jedności i znacznie mniejszy niż autobusu konwencjonalnego. Z kolei wskaźnik emisji dla NO_x przekracza jednak dopuszczalny limit dla autobusów o napędzie konwencjonalnym (o wartości maksymalnej) 2,5-krotnie i dla autobusów hybrydowych nawet 4-krotnie.

Bibliografia:

1. Albertsson P., Falkmer T.: Is there a pattern in European bus and coach incidents? A literature analysis with special focus on injury causation and injury mechanisms. *Accident Analysis and Prevention*, 37, 225-233, 2005.
2. Al-Sultan S., Al-Doori Moath M., Al-Bayatti, Ali H., Zedan H.: A comprehensive survey on vehicular Ad Hoc network. *Journal of Network and Computer Applications*, 37, 380-392, 2014.
3. Ambroziak T., Pyza D.: Merkiśz-Guranowska A., Jachimowski R., Ocena wpływu transportu drogowego na degradację środowiska przy różnej strukturze pojazdów. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa-Poznań 2014.
4. Anund A., Ihlström J., Fors C., Kecklund G., Filtness A.: Factors associated with self-reported driver sleepiness and incidents in city bus drivers. *Industrial Health*, 54 (4), 337-346, 2016.
5. Bartczak K.: Scenariusze rozwoju ITS w polskim transporcie drogowym w latach 2008-2013 cz. 1. *Przegląd ITS*, 1, 19-21, 2008.
6. Biała Księga – Plan tworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu, KOM(2011) 144, wersja ostateczna. Bruksela, dnia 28.3.2011.
7. Cafuso S., Di Graziano A., Pappalardo G.: Road safety issues for bus transport management. *Accident Analysis & Prevention*, 60, 324-333, 2013.
8. Chamier-Gliszczyński N., Bohdal T.: Wskaźniki oceny mobilności miejskiej w aspekcie ochrony środowiska. *Rocznik Ochrona Środowiska* 2016, 18 (1), 670-681.
9. Campbell J.L., Carney C., Kantowitz B.H.: Human factors design guidelines for advanced traveler information systems (ATIS) and Commercial vehicle operation (CVO). Federal Highway Admin, McLean, VA, Rep. FHWA-RD-98-057-2, 2003.
10. Chow A.H.F., Li S., Zhong R.: Multi-objective optimal control formulations for bus service reliability with traffic signals. *Transportation Research Part B-Methodological*, 103, 248-268, 2017.
11. Delgado F., Munoz J.C., Giesen R.: How much can holding and/or limiting boarding improve transit performance? *Transportation Research Part B: Methodological*, 46 (9), 1202-1217, 2012.
12. Dostępna komunikacja miejska. Samorząd równych szans. Fundacja Instytut Rozwoju Regionalnego, Kraków 2009.
13. Drożdżel P., Komsta H., Rybicka I.: Analiza uszkodzeń układów bezpieczeństwa w pojazdach komunikacji zbiorowej na przykładzie Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Lublinie. *Logistyka*, 3, 498-506, 2012.
14. Dyrektywa 2005/55/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 28 września 2005 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstw Państw Członkowskich odnoszących się do działań, które należy podjąć przeciwko emisji zanieczyszczeń gazowych i cząstek stałych przez silniki wysokoprężne stosowane w pojazdach oraz emisji zanieczyszczeń gazowych z silników o zapłonie iskrowym zasilanych gazem ziemnym lub gazem płynnym stosowanych w pojazdach (Tekst mający znaczenie dla EOG).
15. Feng S., Li Z., Ci Y., Zhang G.: Risk factors affecting fatal bus accident severity: Their impact on different types of bus drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 86, 29-39, 2016.

16. Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M.: Inżynieria ruchu drogowego. Teoria i praktyka. WKŁ, Warszawa 2008.
17. Goh K., Currie G., Sarvi M., Logan D.: Factors affecting the probability of bus drivers being at fault in bus-involved accidents. *Accident Analysis and Prevention*, 66, 20-26, 2014.
18. Informacja o wynikach kontroli bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce. Najwyższa Izba Kontroli, Departament Komunikacji i Systemów Transportowych 2011 r. www.nik.gov.pl.
19. Jackiewicz J., Czech P., Barcik J.: Standardy jakości usług w komunikacji miejskiej - Część 1. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Transport*, z. 67, Nr kol. 1832, 55-65, 2010.
20. Jamroz K., Kustra W., Budzynski M., Zukowska J.: Pedestrian protection, speed enforcement and road network structure the key action for implementing poland's vision zero. *Transportation Research Procedia*, 14, 3905-3914, 2016.
21. Jamroz K.: Metoda zarządzania ryzykiem w inżynierii drogowej. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej. Gdańsk 2011.
22. Jeyakumar P. D., Devaradjane G.: Improvement of the frontal structure of a bus for crash accidents. *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition Location*, Houston, 11, 183-187, 2013.
23. Kaplan S., Prato C.G.: Risk factors associated with bus accident severity in the United States: A generalized ordered logit model. *Journal of Safety Research*, 43 (3), 171-180, 2012.
24. Kiba-Janiak M.: Key success factors for city logistics from the perspective of various groups of stakeholders. *Transportation Research Procedia*, 12, 557-569, 2016.
25. Kockelman K.M., Kweon Y.J.: Driver injury severity: an application of ordered probit models, *Accident Analysis and Prevention*, 34 (3) 313-321, 2002.
26. Konstytucja Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 2 kwietnia 1997 r. uchwalona przez Zgromadzenie Narodowe w dniu 2 kwietnia 1997 r., przyjęta przez Naród w referendum konstytucyjnym w dniu 25 maja 1997 r., podpisana przez Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej w dniu 16 lipca 1997 r. (Dz.U. 1997 nr 78 poz. 483).
27. Krystek R. (red.): Zintegrowany system bezpieczeństwa transportu: praca zbiorowa T. 1, T. 2, T. 3. WKiŁ, Gdańsk 2009, 2010.
28. Li D., Zhao Y., Bai Q., Zhou B., Ling H.: Analyzing injury severity of bus passengers with different movements. *Traffic Injury Prevention*, 18 (5), 528-532, 2017.
29. Mallia L., Lazuras L., Violani C., Lucidi F.: Crash risk and aberrant driving behaviors among bus drivers: The role of personality and attitudes towards traffic safety. *Accident Analysis and Prevention*, 79, 145-151, 2015.
30. Mariański M.: Autokary wielkiej turystyki. *Transport Technika Motoryzacyjna*, 7/8, 66-73, 2010.
31. Materiały wewnętrzne Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Rzeszowie na temat uszkodzeń autobusów w latach 2013-2017 roku. Materiały wewnętrzne, niepublikowane.
32. Merksiz J., Jacyna M., Merksiz-Guranowska A., Pielecha J., Stojcki A.: Emisja zanieczyszczeń ze źródeł transportowych w rzeczywistych warunkach ruchu. *Technika Transportu Szynowego*, 10, 2331-2340, 2013.
33. Mikusova M.: Crash avoidance systems and collision safety devices for vehicle occupants. *Conference on Dynamics of Civil Engineering and Transport Structures and Wind Engineering (DYN-WIND)*, Trstena, Slovakia, 107, 21-25, 2017.
34. Murray W., Newnam S., Watson B., Davey J., Schonfeld C.: Evaluating and improving fleet safety in Australia. Department of Transport and Regional Services Australian Transport Safety Bureau. Road Safety Research Grant Report 2003.
35. Phillips W., del Rio A., Carlos M.J., Delgado F., Giesen R.: Quantifying the effects of driver non-compliance and communication system failure in the performance of real-time bus control strategies. *Transportation Research Part A-Policy and practice*, 78, 463-472, 2015.
36. Piątkowski P., Lewkowicz R.: Bezpieczeństwo w pojazdach komunikacji miejskiej. *TRANSCOMP – XIV International Conference Computer Systems Aided Science, Industry and Transport*, Zakopane, 2727-2736, 2013.
37. Prochowski L., Żuchowski A.: Samochody ciężarowe i autobusy. WKŁ, Warszawa 2011.
38. Raporty Komendy Głównej Policji w zakresie wypadków drogowych w latach 2010-2017.
39. Regulamin nr 94 Europejskiej Komisji Gospodarczej Organizacji Narodów Zjednoczonych (EKG ONZ) – Jednolite przepisy dotyczące homologacji pojazdów w odniesieniu do ochrony osób przebywających w pojeździe w przypadku zderzenia czołowego. *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*, PL, 28.5.2010.
40. Reński A.: Bezpieczeństwo czynne samochodu: Zawieszenia oraz układy hamulcowe i kierownicze. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011.
41. Rezolucja Parlamentu Europejskiego z 24 października 2007 r. W sprawie wspólnotowej strategii na rzecz zmniejszenia emisji CO2 pochodzących z samochodów osobowych i lekkich pojazdów dostawczych. 2007/2119(INI).
42. SafetyNet Work Package 3. State-of-the-art Report on Road Safety Performance Indicators. Safety Net 2005.
43. Sandecki T.: Komentarz do warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. Cz. 1 i Cz. 2. Zagadnienia techniczne. Biuro Projektowo-Badawcze Dróg i Mostów Transprojekt. GDDiA, Wydanie 2 uaktualnione i uzupełnione, Warszawa 2002-2003.
44. Świątecki P., Wojucka D. (red.): Bezpieczeństwo w publicznym transporcie zbiorowym. Kancelaria Senatu 2013. Konferencja Senackiego Zespołu Infrastruktury, 15 października 2012 r. Zeszyt 15/2013.
45. Traktaty. Wersja skonsolidowana. Karta praw podstawowych. Unia Europejska, PL marzec 2010.
46. Towpik K., Gołaszewski A., Kukulski J.: Infrastruktura transportu samochodowego. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006.
47. Wicher J.: Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego. Wyd. 3 rozszerzone, WKŁ, Warszawa 2012.
48. Woropay M., Bojar P.: Analiza i ocena uszkodzeń wybranych podzespołów autobusów oraz ich wpływ na zagrożenia w miejskim systemie transportowym. *Archiwum Motoryzacji* 2007, 2, 159-168.
49. Woś P., Michalski J., Wojewoda P.: Bezpieczeństwo autobusowego systemu transportu publicznego miast metropolitalnych Wrocławia i Rzeszowa w 2014 roku. *Autobusy, Bezpieczeństwo i ekologia*, 6, 481-487, 2016.
50. Wretstrand A., Holmberg B., Berntman M.: Safety as a key performance indicator: Creating a safety culture for enhanced passenger safety, comfort, and accessibility. *Research in Transportation Economics* 2014, 48, 109-115.
51. Zhang S., Wu Y., Liu H., Huang R., Yang L., Li Z., Fu L., Hao J.: Real-world fuel consumption and CO2 emissions of urban public buses in Beijing. *Applied Energy*, 113, 1645-1655, 2014.
52. Zielona Księga – w kierunku nowej kultury mobilności w mieście. Komisja Wspólnot Europejskich COM, 2007, 551, wersja ostateczna, Bruksela, dnia 25.9.2007.

Safety and reliability of the personal bus carriages in integrated municipal system of traffic and public transport management - analysis of literature

The article analyzes the city's logistics development strategies and its public transport, especially bus traffic. Statistical analysis of all road transport in the European Union (EU) has been carried out. The most important reasons for the tragic road accidents in Poland have been mixed up. Key elements of active safety and passive safety of buses and road safety were analyzed. Characterized key indicators of road safety in the EU and the probability of bus incidents. The impact on the ecology of the city of road transport was analyzed in terms of the significance of exhaust emissions of various bus designs and emissions of other pollutants.

Keywords: traffic management system, public transport, urban transport safety, urban transport ecology.

Autorzy:

dr inż. **Paweł Woś** – Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, e-mail: pwos@prz.edu.pl

dr hab. inż. **Jacek Michalski**, prof. PRz – Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, e-mail: jmichals@prz.edu.pl