Ewa Szmidt
Instytut Transportu Samochodowego

MECHANIZMY DZIAŁANIA INTELIGENTNYCH SYSTEMÓW TRANSPORTOWYCH I ICH WPŁYW NA BEZPIECZEŃSTWO RUCHU DROGOWEGO

W artykule podano najważniejsze definicje oraz mechanizmy działania dotyczące systemów ITS**.** Następnie przeanalizowano wpływ ich zastosowania na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Wnioski przedstawiono w postaci podsumowania.

MECHANISMS OF THE INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS' OPERATION AND THEIR IMPACT ON THE ROAD SAFETY

The article presents the most important definitions and mechanisms of action for the ITS (Intelligent Transportation Systems). Then analyzed was the impact of their use on the road safety. The conclusions were presented in the form of a summary.

1. Wstęp

Inteligentne Systemy Transportowe (ang. ITS - Intelligent Transportation Systems) stanowią bardzo złożony zbiór nowoczesnych technologii połączonych w sieć wielokrotnie podrzędnie złożoną, mającą na celu skuteczne i kompleksowe zarządzanie transportem drogowym oraz sprawną obsługę podróżnych. Nazwa Inteligentne Systemy Transportowe została zaakceptowana na pierwszym, światowym kongresie w Paryżu w 1994 [1] i oznacza 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 [2].

Technologie te, w połączeniu z fizycznie istniejącymi systemami transportowymi, nazywane są telematyką transportu. Technologie telematyczne stosowane są jako dodatkowe wyposażenie pojazdów oraz elementy infrastruktury transportowej w celu efektywniejszego zarządzania trasami, załadunkiem pojazdów, obłożeniem tras, skrzyżowań itp. Działania takie mają przede wszystkim poprawić bezpieczeństwo, zmniejszyć zatłoczenie szlaków i węzłów komunikacyjnych, skrócić czasy przejazdu oraz dodatkowo obniżyć zużycie paliwa. Obszary stosowania ITS można podzielić następująco [3]:

- zarządzanie ruchem drogowym,
- zarządzanie transportem publicznym,
- zarządzanie transportem ładunków i flotą pojazdów,
- zarządzanie zdarzeniami drogowymi i służbami ratowniczymi,
- zarządzanie bezpieczeństwem ruchu i monitoring naruszania przepisów,
- usługi informacyjne dla podróżnych,
- płatności drogą elektroniczną i systemy elektronicznego poboru opłat za korzystanie z dróg,
- nowoczesne technologie w pojazdach.

Jednym z najważniejszych zadań dla wielu regionów na całym świecie wprowadzających inteligentne rozwiązania w transporcie, jest ustanowienie tzw. architektury ITS. Architektura ITS jest rozumiana jako wspólna płaszczyzna do definiowania, tworzenia i integrowania poszczególnych podsystemów ITS, zwykle pod kontrolą operatora wspieranego przez wyspecjalizowane aplikacje telematyczne (narzędzia realizujące konkretne zadnia).

Architektura ITS składa się z kilku stałych elementów strukturalnych: architektury ogólnej, funkcjonalnej, fizycznej oraz komunikacyjnej. Struktura ogólna przedstawia koncepcję całego systemu i zasady jego działania. Struktura funkcjonalna określa funkcje realizowane przez dany system w taki sposób, aby spełniać oczekiwania użytkowników. Uwzględnia ona wpływ otoczenia na poszczególne podsystemy ITS. Struktura fizyczna stanowi zbiór dokładnie opisanych narzędzi fizycznych wraz z oprogramowaniem, mających za zadanie realizowanie poszczególnych funkcji. Struktura komunikacyjna pełni kluczową rolę w zapewnieniu wymiany informacji i danych między poszczególnymi elementami każdego systemu. Środki przesyłu strumieni danych umożliwiają połączenie elementów systemu w zintegrowaną całość, którą dopiero wówczas można nazwać ITS.

Inteligentne systemy transportowe mogą być stosowane w każdym rodzaju transportu (drogowym, szynowym, powietrznym, wodnym) a oferowane usługi mogą być wykorzystywane zarówno przez transport pasażerski jak i towarowy. Komputery, urządzenia elektroniczne, satelity i sensory grają coraz istotniejszą rolę w systemach

transportowych [4]. Najważniejszą innowacją jest połączenie istniejących technologii w celu stworzenia nowych usług i aplikacji. Inteligentne systemy transportowe, takie jak: oprogramowanie sterujące ruchem, kamery bezpieczeństwa, dynamiczne systemy nawigacji itd., wspomagają pracę systemów transportowych sterujących infrastrukturami transportowymi, zwiększając bezpieczeństwo w ruchu drogowym.

Rozwój Technologii Informacji i Komunikacji (ICT – Information and Communication Technologies) w ciągu ostatnich dziesięcioleci doprowadził do szybkiego wdrożenia nowych aplikacji i usług w różnych dziedzinach. W transporcie zastosowanie ICT doprowadziło do stworzenia inteligentnych systemów transportowych. Wiele tego rodzaju systemów jest już powszechnie stosowanych, jako infrastruktura transportowa oparta między innymi na znakach zmiennej treści, kontrolowanej sygnalizacji, elektronicznych systemach poboru opłat, systemach kontroli ruchu na autostradach, zmiennych ograniczeniach prędkości oraz w systemach instalowanych w pojazdach (np. systemy hamulcowe (ABS – Antilock Braking System)), elektroniczna kontrola stabilności (ESC – Electronic Stability Control), monitorowanie ciśnienia w oponach, adaptacyjne systemy kontroli prędkości, systemy ostrzegania o przekroczeniu prędkości, blokady antyalkoholowe i systemy optymalizujące działanie pasów bezpieczeństwa czy poduszek powietrznych. Niektóre aplikacje ITS są również dostępne za pośrednictwem urządzeń przenośnych (smartfony, systemy nawigacji, palmtopy (PDA), itp.), na przykład aplikacje informacyjne i ostrzegawcze, a także nawigacyjne. Dodatkowo, do tych "niezależnych" systemów opierających się na dedykowanych do nich czujnikach i systemach komunikacyjnych, intensywnie rozwijają się systemy umożliwiające komunikację między pojazdami lub między pojazdami oraz infrastrukturą.

2. Teorie przyczyn wypadków

Definicje wielu systemów ITS można znaleźć w literaturze [5]. Systemy należące do ITS zostały powszechnie uznane za narzędzie pozwalające na osiągnięcie wymiernych korzyści, zwłaszcza w zakresie bezpieczeństwa w ruchu drogowym, ale także w kwestii jego efektywności i trwałości na obszarze całego świata. Rosnąca popularność i użyteczność systemów inteligentnych w transporcie doprowadziła do powstawania inicjatyw i programów mających na celu opracowanie i wdrożenie systemów ITS, takich jak „Intelligent Car Initiative" (CEC 2006 [6]), „eSafety Forum" (CEC 2003 [7]) w Europie oraz „Intelligent Vehicle Initiative" [8] i programy określane jako „Vehicle Infrastructure Integration" w Stanach Zjednoczonych, a także programy „Advanced Safety Vehicle" i „SmartWay" w Japonii [9]. Nowoczesne zintegrowane systemy transportowe są bardzo kosztowne, nie każdy kraj dokonuje wdrożeń w tym samym tempie i zakresie. Do podjęcia decyzji o finansowaniu różnego rodzaju usług i aplikacji ITS, instytucje decydujące o inwestycjach potrzebują danych o możliwym wpływie tych systemów na bezpieczeństwo w ruchu drogowym, płynność ruchu, przepustowość węzłów komunikacyjnych itd. W celu jak najpełniejszego dostępu do takich informacji, powstało do tej pory kilka baz danych [10,11,12]. Natomiast na temat wpływu ITS na infrastrukturę drogową powstało wiele publikacji [13,14,15,16,17,18,19,20]. Opinie dotyczące istniejących systemów są bardzo pomocne dla podmiotów zainteresowanych rozwojem inteligentnego transportu, jednakże w praktyce potwierdzenie uzyskała jedynie ich część, w zakresie niektórych tylko aspektów. Na potrzeby prezentacji nowych systemów oraz ewentualnego ich finansowania niezbędne jest oszacowanie ich wpływu na infrastrukturę i bezpieczeństwo w sposób kompleksowy, a także opracowanie metodyki wdrożenia ich

w praktyce. Opracowanie teorii wpływu ITS na bezpieczeństwo ruchu drogowego jest pierwszym etapem opracowania skutecznych zintegrowanych systemów transportowych.

Poniżej przedstawiono podstawy teoretyczne działań oraz środków związanych z bezpieczeństwem ruchu drogowego. Bezpieczeństwo drogowe jest zwykle określane raczej w kategoriach „niebezpieczeństwa" drogowego, na przykład jako liczba zdarzeń drogowych ze skutkiem śmiertelnym, jak również ilość i stopień obrażeń w nich odniesionych. Wielu autorów [21,22] definiuje bezpieczeństwo drogowe jako oczekiwaną liczbę jednostek osób rannych lub poszkodowanych w jednostce czasu. Jednostka może oznaczać odcinek drogi, skrzyżowania, kierowcę lub grupę kierowców lub pojazdów. Należy podkreślić, że wartość „rzeczywista" czyli realna liczba zarejestrowanych bądź zgłoszonych wypadków, oscyluje wokół wartości oczekiwanej sposób opisywany często przez rozkład Poissona.

Skonstruowano pięć głównych teorii próbujących wyjaśnić istotę bezpieczeństwa na drogach oraz wypadków drogowych [21]: (1) teoria mówiąca o tym, że wypadki są zdarzeniami całkowicie przypadkowymi, (2) teoria statystyczna wypadków oraz teoria skłonności do wypadków, (3) teoria przyczynowa wypadku, wyrażona jako dogłębne studium wypadków, (4) teoria systemowa i teoria epidemiologiczna, (5) teoria behawioralna. Trzy ostatnie są obecnie szeroko stosowane w transporcie drogowym, w zakresie działań na rzecz bezpieczeństwa. Z tego względu warto zwrócić uwagę na ich założenia. Przyczynowa teoria wypadków została opracowana w celu identyfikacji rzeczywistych przyczyn wypadków poprzez dokładne zbadanie wydarzeń i okoliczności, które doprowadziły do wypadku. Założono, że jeżeli możliwe jest określenie przyczyn wypadku, można również zaprojektować środki zaradcze w taki sposób, aby zapobiegać wypadkom w przyszłości. Jednym z głównych wniosków powtarzających się w różnych opracowaniach dotyczących opisywanej teorii jest fakt, iż 85-90% wypadków spowodowanych jest przez czynniki ludzkie [23]. Tak duży nacisk położony na aspekt dotyczący błędów człowieka doprowadził do pytania, dlaczego człowiek popełnia błędy. Warto w tym miejscu zaznaczyć, że wypadki są zazwyczaj zdarzeniami wieloprzyczynowymi i niemal żaden wypadek nie obejmuje jednego czynnika, lecz większą ich liczbę. Takie podejście do problemu pozwala przypuszczać, że człowiek nie jest jedyną przyczyną wypadków drogowych. Jednocześnie doprowadziło ono do skoncentrowania uwagi badaczy na zachowaniu kierowcy podczas jazdy i znalezieniu przyczyn popełniania przez niego niezamierzonych błędów [24]. Zastosowanie teorii systemowej skutkuje wprowadzeniem modyfikacji technicznych elementów systemu transportu drogowego. Lepszej jakości drogi i pojazdy są projektowane z uwzględnieniem ludzkich możliwości i ograniczeń (np. kierunkowanie skrzyżowań, rond, nowoczesne systemy nawigacji, światła do jazdy dziennej oraz wiele systemów poprawiających ergonomię pojazdów). Wiele tych systemów wydaje się obecnie oczywistych, ale we wczesnym stadium prac koncepcyjnych nad usprawnieniem transportu wydawały się wręcz rewolucyjne. Ponadto badania bezpieczeństwa drogowego koncentrują się najczęściej na badaniu normalnego, codziennego zachowania kierowców, wymagań warunkujących bezpieczne zachowania i szukaniu najlepszych rozwiązań z punktu widzenia użytkowników dróg [24]. Teorie behawioralne, proponowane przez Elvik i innych [21] próbują opisać jak ocena ryzyka czynnika ludzkiego i akceptacja tego ryzyka wpływają na zaangażowanie w wypadek użytkowników dróg. Luoma [24] postrzega systemy transportowe jako połączenie użytkowników dróg, środowiska ruchu, pojazdów i systemów kontroli oraz wyszukuje i systematyzuje interakcje występujące między wszystkimi tymi elementami. Wspomniane interakcje są to pewne formy zachowań

ludzkich zawierające kilka etapów: - spostrzeżenie - przetwarzanie informacji - decyzja – wybór odpowiedzi - wykonanie. Obecnie teorie systemowe i behawioralne dominują nad pozostałymi w badaniach nad bezpieczeństwem ruchu drogowego, a także w obszarze działań wdrożeniowych, chociaż teorie przyczynowe wypadków oraz narzędzia oparte na teoriach przyczynowych używane są również. Typowe obszary zastosowań tych teorii obejmują wnikliwe analizowanie wypadków w celu identyfikacji czynników przyczyniających się do wypadków, wskazanie winnych wystąpienia wypadku lub wadliwych elementów biorących udział w wypadku.

W koncepcji behawioralnej istnieje zjawisko nazywane adaptacją behawioralną. Jest to zmiana zachowania uczestnika ruchu drogowego, wywołana przez zastosowane środki bezpieczeństwa. Bardziej ogólnie termin ten może być opisany w ramach teorii użytkowych [25]. Według nich jednostki, a w szczególności użytkownicy dróg zachowują się racjonalnie na poziomie indywidualnym, a ponadto starają się zaspokoić własne potrzeby i preferencje, dążąc do własnej maksymalnej skuteczności. Użytkownicy dróg definiują w sposób naturalny swoją skuteczność poprzez: uniknięcie wypadku, osiągnięcie celu podróży w założonym czasie, poczucie komfortu w trakcie jazdy, możliwość optymalizowania trasy w celu jej skrócenia, itp. Adaptacja behawioralna może występować w wielu formach, a także na kilku poziomach podejmowania decyzji przez użytkowników dróg (strategicznych, taktycznych i operacyjnych). Na poziomie taktycznym adaptacja behawioralna ma wpływ na zmiany w podróży: koordynację czasową, wybór trybu podróży oraz trasy. Na poziomie strategicznym, adaptacja behawioralna może występować w postaci wyboru pasa ruchu w czasie jazdy, osiągania założonego średniego czasu przejazdu czy utrzymywanie wybranego odstępu między pojazdami. Na poziomie operacyjnym, adaptacja behawioralna może mieć wpływ na przykład na świadomość kierowcy w kontekście sytuacji na drodze, między innymi: czujność, wybór odpowiedniej prędkości i sprawne manewrowanie pojazdem. Większość omówionych do tej pory kwestii koncentrowała się na aspektach taktycznych oraz operacyjnych adaptacji behawioralnej. Spyropoulou [20] przeprowadziła wnikliwy przegląd różnych systemów ITS z uwzględnieniem ich bezpośredniego i pośredniego wpływu na modyfikację zachowania kierowcy podczas jazdy, jako konsekwencji zastosowania danego systemu. Wynika z niego, iż nastawienie użytkowników (ich akceptacja lub frustracja) podczas stosowania aplikacji inteligentnych jest kluczową kwestią jeśli chodzi o praktyczne stosowanie systemów inteligentnych oraz ich skuteczność działania. Zjawisko to można zobrazować na przykładzie aplikacji „Alco-lock". Zapobiega ona możliwości uruchomienia pojazdu kierowcy pod wpływem alkoholu i/lub środków odurzających. Dzięki temu redukuje, w teorii do zera, niebezpieczeństwo na drodze ze strony kierowców „pod wpływem" (DUI – Driving Under Influence). Bjerre [67] badał bezpośredni wpływ urządzeń typu „Alco-lock" na bezpieczeństwo drogowe. Wykazał on zmniejszenie ilości wypadków i przypadków hospitalizacji uczestników programu, zakładającego używanie tej aplikacji przez określony czas. Bardzo ważnym czynnikiem warunkującym skuteczność tych aplikacji jest adaptacja behawioralna użytkowników. Aplikacja „Alco-lock" wpływa na poprawę bezpieczeństwa na drodze tylko jeśli jej zainstalowanie w pojeździe jest obowiązkowe. Badania wykazały, że jeśli jest jedynie zalecane, wówczas ilość wypadków powodowanych przez kierowców DUI jest nawet nieco wyższa w przypadku sprawców więcej niż jednego wypadku spowodowanego jazdą pod wpływem, w porównaniu do kierowców nie używających aplikacji „Alco-lock". Ponadto wykazano, że po zakończeniu badań i odinstalowaniu aplikacji i czujnika, ilość wypadków spowodowanych przez DUI wracała do początkowego poziomu.

3. Mechanizmy działania systemów ITS

Cacciabue i Saad [26] zidentyfikowali sześć parametrów charakteryzujących zachowanie kierowców w kontekście systemów wspomagania kierowcy, uwzględniając aktualny stan wiedzy dotyczący adaptacji behawioralnej. Te parametry to: nastawienie/osobowość, doświadczenie/umiejętności, wymagania zadaniowe, stan kierowcy, świadomość sytuacji/czujność oraz zamierzenia/cele. Jednak oszacowanie wpływu systemów ITS na bezpieczeństwo ruchu drogowego powinno zawierać nie tylko wkład pochodzący od adaptacji behawioralnej kierowców, ale musi również uwzględniać zdefiniowane mechanizmy działania tych systemów. Poniżej przedstawiono listę dziewięciu mechanizmów działania systemów ITS oraz ich wpływ na bezpieczeństwo w ruchu drogowym.

- Bezpośrednie modyfikacje, dotyczące prowadzenia pojazdu.

Mechanizm ten jest realizowany poprzez przekazywanie informacji, doradztwo oraz pomoc lub przejmowanie części zadań przez system. Wymienione czynniki mogą bezpośrednio wpływać na uwagę kierowcy, obciążenie psychiczne, a także na szybkość podejmowania decyzji o rozpoczęciu działania (np. wybór odpowiedniej prędkości). Cechą zasadniczą tego mechanizmu jest fakt, że zastosowanie określonej aplikacji systemu wywiera bezpośredni wpływ na zachowanie kierowcy; innymi słowy są to bezpośrednie reakcje na bodziec i pojawiają się w ciągu kilku milisekund lub sekund od pojawienia się określonego bodźca. Ten mechanizm obejmuje zarówno intencjonalne skutki działania aplikacji (na przykład zmniejszenie prędkości w celu uniknięcia kolizji) jak i nieintencjonalne (np. rozproszenie uwagi kierowcy). W literaturze można znaleźć co najmniej dwa badania dostarczające typowych przykładów wymienionych skutków. Pierwszy dotyczy alarmu zintegrowanego z prędkościomierzem, aktywowanego poprzez pedał przyspieszenia. Várhelyi i inni [27] za skutek jego zastosowania uznali znaczne obniżenie średnich prędkości w badanych pojazdach jak również odchyleń standardowych prędkości, co przekładało się również na płynniejszą jazdę i mniejsze zużycie paliwa. Jako drugi przykład badań nad skutkami intencjonalnymi zastosowania aplikacji ITS w pojeździe, można podać wyniki holenderskiego terenowego testu operacyjnego (FOT) systemu ACC (Adaptive Cruise Control) [28]. Według niego, korzystanie z ACC wiąże się ze zmniejszeniem liczby pojazdów jadących w zbyt małych odstępach w stosunku do poprzedzającego pojazdu, natomiast osiągane przy pomocy ACC średnie odstępy mogą wzrosnąć o 0,2 s w dużym ruchu ulicznym. Przyjęte jest mierzenie odstępów między pojazdami za pomocą czasu, po jakim pojazd jadący z tyłu osiągnie punkt, który pojazd poprzedzający minął w momencie początku pomiaru. Za bezpieczny uznaje się odstęp wynoszący 3 sekundy.

- Bezpośrednie oddziaływanie na kierowców za pomocą systemów drogowych.

Mechanizm ten wywiera bezpośredni wpływ na kierowcę poprzez sygnalizację drogową, głównie za pomocą informowania i doradzania. Bez możliwości kontrolowania działań kierowcy lub pojazdu, wpływ tego oddziaływania jest bardziej ograniczony niż systemów montowanych w pojazdach. W pozostałych aspektach skutki jego działania są podobne jak te opisane w mechanizmie powyżej. Rama [29] wykazał, że ograniczenia prędkości związane z pogodą wraz z towarzyszącymi im znakami informacyjnymi i ostrzegawczymi, powodują zmniejszenie średniej prędkości pojazdów podczas niekorzystnych warunków pogodowych. Zmienne ograniczenia prędkości są najbardziej skuteczne w warunkach śliskiej nawierzchni, trudnej do zweryfikowania. Przy dobrej

pogodzie, przyczepności i widoczności, wyższe dozwolone limity prędkości powodują jedynie umiarkowany wzrost średniej prędkości pojazdów. Kierowcy bardziej stosują się do zmiennych ograniczeń prędkości, niż do klasycznych, nie przewidujących odstępstw. Przydrożne znaki ostrzegawcze informujące o zmianie przyczepności nawierzchni powodują statystycznie znaczący spadek prędkości pojazdów [30] i jako część systemu zmiennych ograniczeń prędkości, wpływają również na odstępy między pojazdami poprzez zmniejszenie liczby tych najkrótszych i najbardziej niebezpiecznych [29]. Przeprowadzanie ankiet wśród kierowców w miejscach występowania tych znaków, potwierdza słuszność poczynionych założeń. Oprócz obniżenia średnich prędkości, zwłaszcza na wirażach, wielu kierowców potwierdziło, że zwrócili większą uwagę na warunki panujące na drodze i na stan nawierzchni. Niektórzy kierowcy stwierdzili również, że badali śliskość nawierzchni oblodzonych ale czarnych, poprzez delikatne hamowanie [31].

- Pośrednie modyfikacje zachowań kierowców.

Pośrednia zmiana zachowań użytkowników może być realizowana na wiele, w dużej mierze nieopisanych szerzej sposobów. Kierowca zawsze będzie dostosowywać się do zmieniającej się sytuacji. Jest to najważniejsza myśl przewodnia, a także jedna z definicji adaptacji behawioralnej. Często taka pośrednia zmiana zachowania nie pojawia się od razu po zmianie sytuacji na drodze, może pojawić się z opóźnieniem, co jest bardzo trudne do przewidzenia czy opisania. Modyfikacja pośrednia jest zjawiskiem nieco bardziej długotrwałym niż bezpośrednia, natychmiastowa reakcja w przypadku mechanizmów 1 i 2. Długotrwała adaptacja behawioralna może objawiać się na wiele różnych sposobów (na przykład poprzez przekierowanie uwagi kierowcy, poprzez zmianę na stałe odstępów między pojazdami, poprzez zmianę oczekiwań w kwestii zachowania innych użytkowników drogi). Adaptacja taka może być wynikiem przekazania odpowiedzialności wynikającej z prowadzenia pojazdu częściowo lub całkowicie na system sterowania ruchem, na którym kierowcy nauczyli się polegać. Jako przykład takich efektów można przytoczyć prace [32], w których stwierdzono w badaniu systemów ACC na torze, że kierowcy bardzo polegają na ACC w kwestii utrzymania swojego pojazdu w bezpiecznej odległości od poprzedzającego pojazdu, oraz że ACC zwiększa szybkość reakcji kierowców jeśli chodzi o wykrywanie czynników ryzyka czy zmian pozycji na pasie ruchu. Ben-Yaacov i inni [33] wykazali, że kierowcy mają tendencję do przeceniania odległości od poprzedzającego pojazdu, a co za tym idzie jazdy w zbyt krótkich i potencjalnie niebezpiecznych odstępach. Wyniki ich badań wskazują na to, że niedoskonałe (niezawodność 60-95%) systemy wczesnego ostrzegania przed kolizją są przydatne do edukacji kierowców w kwestii bardziej racjonalnego oszacowania odstępu od poprzedzającego pojazdu. Okazało się również, że po stosunkowo krótkotrwałym stosowaniu tej aplikacji, kierowcy są w stanie utrzymywać bezpieczniejsze odstępy przez co najmniej sześć miesięcy. Stanton i Pinto [34] wykazali w badaniach na symulatorze jazdy, że system poprawy widoczności rzeczywiście poprawia ją we mgle i ciemności, co może skutkować zwiększeniem średnich prędkości jazdy, jak również wyprzedzaniem w sytuacjach zmniejszonej widoczności, ale taką naturalną ale niepożądaną konsekwencję adaptacji behawioralnej można wyeliminować dzięki symulowanym awariom systemu poprawiania widoczności.

- Pośrednie modyfikacje zachowań innych uczestników ruchu drogowego.

Ten typ adaptacji behawioralnej jest jeszcze trudniejszym zjawiskiem do badań niż poprzedni, ponieważ często bywa wtórny. Niewyposażeni kierowcy mogą na przykład zmieniać swoje zachowanie naśladując zachowanie wyposażonych kierowców (np. jeżdżąc

w mniejszych odstępach lub szybciej niż powinni, nie mając odpowiedniego wyposażenia, które by im na takie manewry pozwalało). Efekty tego są często widoczne na poziomie płynności ruchu drogowego. Dowody na występowanie takiego zjawiska uzyskano w badaniach nad systemami alarmującymi o przekraczaniu prędkości w szwedzkim mieście Umea. W badaniach uczestniczyło około 4000 wyposażonych w inteligentne systemy pojazdów. Badania te wykazały, że ostrzeżenia o przekroczeniu prędkości mają również wpływ na innych użytkowników dróg, nie tylko na kierowców, co oznacza, że oni również zastosowali się do nakazu obniżenia prędkości, tak jak kierowcy pojazdów [35].

- Modyfikacja interakcji pomiędzy użytkownikami dróg.

ITS zmienia sposób komunikacji pomiędzy wyposażonymi w aplikacje inteligentne użytkownikami dróg. Ta zmiana może również wpływać na tradycyjny system komunikacji z użytkownikami dróg nie posiadającymi technologii ITS w pojazdach. Największy problem zwykle pojawia się w interakcjach między kierowcami i niechronionymi użytkownikami dróg. Udokumentowane wyniki pozytywnych zmian w dziedzinie szeroko pojętych interakcji można znaleźć w szwedzkich badaniach dotyczących ostrzegania o przekroczeniu prędkości. Kierowcy pojazdów wyposażonych w systemy ostrzegające o przekroczeniu prędkości deklarowali znaczny wzrost zainteresowania niechronionymi użytkownikami dróg, choć tylko część badań potwierdziła te deklaracje. Natomiast tendencja kierowców do nie zatrzymywania się na przejściach dla pieszych, w celu nadrobienia straconego czasu nie została potwierdzona doświadczalnie, z wyjątkiem poddawanych stresom kierowców autobusów [35,27]. Dowody na negatywne zmiany w interakcjach między użytkownikami przedstawił Zheng i inni [36]. Przeprowadzone badania symulacyjne dotyczyły systemów ostrzegania o kolizji. Wykazały one, że pojazd poprzedzający, wyposażony w system reakcji na ostrzeżenie o możliwości kolizji może być bardziej niebezpieczny niż 99,7% pojazdów hamujących normalnie, czyli bez pomocy systemu ostrzegawczego. Wynik ten oznacza w praktyce zwiększone ryzyko wystąpienia drugiego zderzenia z pojazdem znajdującym się z tyłu jeżeli pojazd poprzedzający hamuje bardzo gwałtownie w celu uniknięcia zderzenia po otrzymaniu ostrzeżenia z systemu [36].

- Modyfikacja narażenia użytkowników dróg.

Modyfikacja narażenia użytkowników dróg może być realizowana na przykład poprzez informacje, zalecenia, ograniczenia oraz kary. Ten mechanizm zajmuje się tylko zmianami w liczbie podejmowanych podróży, czyli czy użytkownik pod wpływem informacji z systemu zdecyduje się podróżować czy z podróży zrezygnuje w danym momencie. Jest to ważny mechanizm zapewniania bezpieczeństwa, wyrażonego jako modyfikacja narażenia uczestników ruchu drogowego, spowodowanego spodziewaną liczbą wszystkich wypadków, urazów i zgonów na co wskazuje np. Fridström i inni [37]. Natomiast Vonk ze współpracownikami [38] szacuje, że liczba przejechanych kilometrów dzięki wykorzystaniu systemu dynamicznej nawigacji może ulec zmniejszeniu do 16%, zwłaszcza w przypadku podróży do wcześniej nieznanego celu podróży. Scentralizowane planowanie trasy w przypadku zarządzaniu flotą wykazało zmniejszenie przebiegu pojazdów handlowych o 18% [39]. Empiryczne dowody modyfikacji narażenia jako efektu behawioralnego nie są dostępne, prawdopodobnie ze względu na fakt, tego rodzaju zależności przyczynowo skutkowe nie są badane. Rozsądnym jest założenie, że systemy, które mają ułatwić jazdę w niekorzystnych warunkach, będą zachęcać co najmniej część kierowców zwykle rezygnujących z podróży w warunkach niewygodnych do jazdy, do korzystania z samochodu w takich warunkach z jednoczesnym wsparciem odpowiedniego systemu [40]. W szczególności wykazano, że oświetlenie drogowe powoduje zwiększenie

częstotliwości podróżowania w nocy, zwłaszcza w przypadku osób starszych. Taki efekt prawdopodobnie dałoby również zainstalowanie dobrze działającego nocnego systemu wizyjnego.

- Modyfikacja wyboru środka transportu.

Modyfikacja wyboru środka transportu, realizowana jest na przykład poprzez ograniczenia w dostępności, takie jak: obszary z ograniczeniami dostępu, opłaty drogowe, strategiczne wykorzystanie powierzchni parkingowych. Ponadto budowa i usprawnianie węzłów komunikacyjnych z wykorzystaniem wielu środków transportu publicznego pozwalają na uzyskanie lepszej kontroli nad strumieniem podróżnych, a także jego optymalizację. Dla uczestników ruchu drogowego istotne dla wyboru środka komunikacji są także systemy informacji dla podróżnych. Różne środki transportu niosą ze sobą zróżnicowane ryzyko wypadków, zatem wszelkie dane dające informacje o stopniu podejmowanego ryzyka podczas wybierania sposobu podróżowania, również mają wpływ na bezpieczeństwo w ruchu drogowym. Dowody na istnienie takiego wpływu istnieją dla systemów, które mają na celu modyfikowanie wyboru środka transportu na podstawie jego funkcjonalności. Na przykład system informacji sektora transportu publicznego, podający informacje o przyjazdach i rozkładzie jazdy w czasie rzeczywistym za pomocą wyświetlaczy na przystankach, łącznie z ustaleniem priorytetowej sygnalizacji świetlnej dla transportu publicznego, spowodował wzrost liczby pasażerów korzystających z transportu publicznego o 1% w Helsinkach. Wzrost ten dotyczył głównie grupy pasażerów poprzednio korzystających z rowerów bądź przemieszczających się pieszo [41]. Internetowa aplikacja umożliwiająca planowanie trasy dla transportu publicznego była oceniana w dużej aglomeracji miejskiej [42], na podstawie ankiet użytkowników. Zanotowano wzrost o 3% jeśli chodzi o korzystanie z transportu publicznego wśród użytkowników usługi. Połowa tego wzrostu była spowodowana rezygnacją z prywatnego samochodu na rzecz transportu publicznego, a druga połowa z rezygnacji z roweru lub poruszania się pieszo. Jest jednak również możliwe, że wyposażenie prywatnych pojazdów w systemy powodujące zwiększenie bezpieczeństwa, komfortu podróży lub skrócenie oczekiwanego czasu przejazdu odniesie ten skutek, że jazda samochodem stanie się znowu bardziej atrakcyjna niż transport publiczny.

- Modyfikacja wyboru trasy.

Modyfikacja wyboru trasy realizowana jest przez objazdy, systemy nawigacji, systemy informacji dynamicznej, systemy ostrzegania o zagrożeniach monitorujące wypadki. Różne części sieci drogowej, czyli różne kategorie dróg, różnią się od siebie stopniem zagrożenia incydentami, dlatego każdy środek wpływający na zmianę trasy i skutkujący przekierowaniem na drogi różnej kategorii, ma wpływ na bezpieczeństwo na drodze. Należy pamiętać, że zmiany trasy wpływają również na narażenie na wystąpienie wypadku, a zmiany tego parametru występujące na skutek zmiany trasy mogą być zaklasyfikowane do tego mechanizmu lub do mechanizmu opisującego modyfikację narażenia użytkowników drogi. Dynamiczne systemy nawigacji i naprowadzania mają na celu doprowadzenie użytkowników do miejsca przeznaczenia najszybszą drogą, co będzie skutkować zmianami trasy. System nawigacyjny „TravTek" pomaga kierowcom uniknąć zatorów na drogach, w związku z czym kierowcy decydują się pod wpływem podpowiedzi systemu na nieco dłuższe trasy drogami niższej kategorii, co w efekcie sprawia, że czas obu wariantów podróży jest podobny. Jednak komfort psychiczny kierowcy jest znacznie wyższy gdy nie napotyka na trasie zatorów, dlatego w celu ich uniknięcia często decyduje się na dłuższą trasę [43].

- Modyfikacja konsekwencji wypadków.

Modyfikowanie skutków awarii jest to bardzo skomplikowany problem. Można to osiągnąć dzięki inteligentnemu systemowi redukującemu skalę wypadku, zamontowanemu w pojeździe. Bardzo ważne jest również szybkie i dokładne raportowanie o awarii do odpowiednich służb i jak najszybsze wezwanie karetki, co pozwala na przyśpieszenie akcji ratunkowej. Istnieje kilka systemów działających według tego mechanizmu, wykazujących wpływ na bezpieczeństwo ruchu drogowego.

4. Korzyści płynące ze stosowania ITS

Korzyści płynące z zastosowania Inteligentnych Systemów Transportowych są różnorakie. Z badań wynika, iż zastosowanie ITS powoduje [44]:

- Zwiększenie przepustowości sieci ulic o średnio 22,5%.
- Poprawę bezpieczeństwa ruchu drogowego (zmniejszenie liczby wypadków o średnio 60%).
- Zmniejszenie czasów podróży i zużycia energii (o blisko 60%).
- Poprawę jakości środowiska naturalnego (redukcję emisji spalin o średnio 40%).
- Poprawę komfortu podróżowania i warunków ruchu kierowców, podróżujących transportem zbiorowym oraz pieszych.
- Redukcję kosztów zarządzania taborem drogowym.
- Redukcję kosztów związana z utrzymaniem i renowacją nawierzchni.
- Zwiększenie korzyści ekonomicznych w regionie, w którym zastosowane są rozwiązania ITS.

Poniżej opisano najskuteczniejsze, wdrożone w różnych krajach Inteligentne Systemy Transportowe o udokumentowanym spadku liczby wypadków i/lub urazów i/lub ofiar śmiertelnych od 13% do 71% [45] w różnych krajach:

Systemy zarządzania zdarzeniami i przepływem ruchu (Highway Management Systems) w Stanach Zjednoczonych, przyczyniają się do zmniejszenia liczby wypadków od 15% do 50%, a zranień o 20% do 29%. Poza większą szansą przeżycia dla bezpośrednich ofiar wypadków, systemy zarządzania wypadkami pozwalają zmniejszyć liczbę wypadków wtórnych o 40%. Crash Prevention and Safety - system wdrożony dla kierowców ciężarówek, powoduje zmniejszenie ilości wypadków związanych z pojazdami ciężarowymi o 13%, a liczbę uciekających samochodów ciężarowych z miejsca zdarzenia o 24%. Drogowe systemy zarządzania związane z pogodą, ostrzegając kierowców o niebezpiecznych warunkach pogodowych, przyczyniają się do zmniejszenia średniej prędkości pojazdów o 26% [46].

Podręcznik poświęcony systemom ITS [47], zawiera informację dotyczącą inteligentnego systemu „dozowania wjazdu" (Ramp Metering) w USA, dzięki któremu odnotowuje się zmniejszenie ilości wypadków w zakresie 24% - 50%, oraz redukcję wypadków z urazami o 71%. Ramp metering jest aplikacją ITS pozwalającą upłynniać strumień pojazdów na autostradach. Kontroler ruchu jest umieszczany na wjeździe na autostradę, w celu uniknięcia pojawienia się na niej zbyt wielu pojazdów jednocześnie. Tak zwane „zielone światło" na kontrolerze zmienia się proporcjonalnie do przyrostu ruchu na autostradzie. Jeśli natężenie ruchu przekroczy zaprogramowaną na kontrolerze wartość, będzie on zezwalał pojazdom na wjazd pojedynczo, a nie strumieniem.

W Glasgow, kamery rejestrujące przejazd pojazdu na czerwonym świetle spowodowały zmniejszenie liczby ofiar śmiertelnych o 67%, obrażeń o 14% oraz redukcję średniej prędkości pojazdów o 8%.

Norfolk wprowadziło interaktywne znaki świątłowodowe, które różnicują ograniczenia prędkości. Pojawienie się takich znaków spowodowało zmniejszenie prędkości na autostradach oraz ilości wypadków śmiertelnych o 21,5%.

Systemy ITS zastosowane na drodze M25 w Londynie spowodowały spadek ilości urazów odniesionych podczas wypadków o 28% podczas gdy rozładowanie zatorów zmniejszyło ilość samych wypadków [48].

W eThekweni (RPA; dawniej: Durban) badano skutki zastosowania ITS w postaci e-mobilności (e-Mobility). Wprowadzono tam zintegrowany system, zawierający aplikację zarządzającą zdarzeniami drogowymi oraz „dozowanie wjazdu". Spodziewanym efektem wdrożenia system był spadek średniej prędkości pojazdów na drogach o około 45% [49].

Dynamiczne systemy zarządzania ruchem, korzystające z lokalnych regulacji, komunikatów ostrzegawczych lub informacyjnych, mają potencjał redukowania zagrożenia dla bezpieczeństwa i poprawy przepływu ruchu. Wdrożenie systemów, które dostarczają kierowcom informacji o bieżących warunkach na drodze, na przykład o złej pogodzie lub stanie nawierzchni, wpływa na zwiększenie bezpieczeństwa. Efektem dostarczania takich informacji kierowcy jest redukcja prędkości oraz wahań prędkości, zwiększenie odstępów między pojazdami oraz unikanie niebezpiecznych sytuacji, mogących prowadzić do kolizji [50,51]. Ponadto w literaturze można znaleźć badania wskazujące na zwiększenie bezpieczeństwa o wartość między 9 a 64% [52].

Połączenie alarmowe *eCall* podaje dokładne współrzędne miejsca wypadku do służb ratunkowych. System powinien prowadzić do zwiększenia efektywności łańcucha ratunkowego, zmniejszając konsekwencje wypadków oraz ich dotkliwość. Liczba śmiertelnych ofiar wypadków drogowych dzięki systemowi *eCall* może się zmniejszyć o 2 do 15%, a liczba poważnych obrażeń o 3 do 15% [10]. Usługa eCall może zmniejszyć skutki wypadku o 5% dzięki skutecznemu zarządzaniu wypadkiem [53]. Zespoły dochodzeniowe w Finlandii badały skuteczność systemu *eCall*. Na podstawie sprawozdań z wypadków, została ona oszacowana na podstawie 5-10% zmniejszenia ilości zgonów, zaklasyfikowanych jako konsekwencje wypadków z udziałem pojazdów mechanicznych w Finlandii. W 95% przypadków zmniejszonych obrażeń ze śmiertelnych, konsekwencje mogłyby zamienić się na urazy wymagające dalszego leczenia w szpitalu i/lub rehabilitacji, a pozostałe 5% sprowadziłoby się do obrażeń nie wymagających dalszego leczenia [54].

System inteligentnej adaptacji prędkości to system ostrzegawczy lub wykonawczy, który wpływa na kierowcę, gdy przekroczy on dopuszczalną prędkość. Zaprojektowano i wprowadzono do użytku szeroką gamę systemów zapobiegających przekroczeniu prędkości [55]. Są one często określane jako inteligentne dostosowanie szybkości (ISA), ogranicznik prędkości, inteligentny tempomat (ICC) itd. Główną funkcją takich urządzeń jest monitorowanie prędkości pojazdu i porównywanie z prędkością progową (która jest tożsama z aktualnym ograniczeniem prędkości (stałym, zmiennym lub dynamicznym). Informacje te mogą być uzyskane za pomocą technologii GPS. W przypadku, gdy prędkość pojazdu jest wyższa niż dopuszczalna, aplikacje mogą wykonywać kilka czynności, w zależności od oprogramowania. Trzy główne typy tego rodzaju aplikacji mają charakter informacyjny/doradczy, ostrzegawczy/wspierający i interweniujący /obligatoryjny [58]. Informacje na temat obowiązujących ograniczeń prędkości są dostarczane do kierowcy w pierwszym przypadku audiowizualnie, w drugim przypadku

sygnał ostrzegawczy jest przekazywany audiowizualnie lub dotykowo, w trzecim przypadku system uniemożliwia kierowcy przekroczenie dozwolonej prędkości. W efekcie system redukuje czas jazdy powyżej dozwolonej prędkości [56,57,58], a także powoduje płynniejsze, spokojniejsze hamowanie [59]. Dynamiczna wersja przymusowej kontroli prędkości (ogranicznik) może zmniejszyć liczbę poważnych wypadków nawet o 36%, a wypadków śmiertelnych nawet o 59% [60,10]. System zmiennego ograniczenia prędkości zintegrowany z systemem ostrzegającym o mgłach, pozwala zmniejszyć liczbę wypadków z urazami na niemieckich autostradach o około 20% [61], a system zmiennego ograniczenia prędkości zintegrowany systemem ostrzegania o śliskiej nawierzchni na fińskich autostradach zmniejszył ilość wypadków o około 10% ([62,8]. W Wielkiej Brytanii system zmiennego ograniczenia prędkości pozwolił ograniczyć wypadki ze skutkiem śmiertelnym o14-48% [63].

Pod wpływem alkoholu i/lub środków odurzających, kierowcy stanowią zagrożenie dla bezpieczeństwa ruchu drogowego, zarówno pod względem zwiększania liczby wypadków, jak również ich dotkliwości. Aplikacje, które mogłyby uniemożliwić im prowadzenie pojazdu mogą poprawić bezpieczeństwo na drogach. Szereg takich urządzeń, określanych jako Alco-lock lub Alcohol-interlock, zostały wprowadzone zarówno na rynek, jak również do krajowych programów i planów strategicznych mających poprawić bezpieczeństwo ruchu drogowego [64,65]. Jest to urządzenie zaprojektowane do badania zawartości alkoholu w wydychanym powietrzu, zintegrowane z pojazdem. Kierowca musi użyć go przed uruchomieniem silnika (niektóre urządzenia zapewniają możliwość użytku na trasie). Kiedy wykryty poziom jest powyżej zaprogramowanej wartości progowej, silnik nie daje się uruchomić lub kierowca ma kilka minut na zaparkowanie pojazdu przed zatrzymaniem silnika [66]. W toku prowadzonych badań [67] stwierdzono istnienie bezpośredniego pozytywnego wpływu stosowania systemów Alco-lock na bezpieczeństwo ruchu drogowego, w postaci mniejszej ilości wypadków, przypadków hospitalizacji oraz niższej skłonności kierowców do ponownej jazdy pod wpływem alkoholu. Należy podkreślić, ze systemy te są skuteczne wyłącznie przy stałym użyciu, nie wpływają na trwałą zmianę zachowań i zwyczajów kierowców. Zainteresowanie obligatoryjnym montowaniem systemów Alco-lock zgłosiły: Kanada [68], Słowenia, Francja, Szwecja, Irlandia i Polska. Ponad połowa użytkowników dróg była temu przeciwna w Holandii, Niemczech, Austrii i Czechach [69].

W celu uniknięcia wypadków, które są spowodowane ~~ze~~ naruszeniem zasad panujących na autostradach, powinny zostać wprowadzone narzędzia mające zdolność do interwencji. Dotychczas stosowane aplikacje ostrzegawcze lub informacyjne będą bezużyteczne w przypadku uzasadnionego przypuszczenia, że kierowca jest nieświadomy lub nieprzytomny. Inteligentne systemy biorące pod uwagę wymienione sytuacje, mogą obejmować aplikacje, które zapobiegają przekroczeniu linii postoju podczas nadawania sygnału czerwonego lub wjazdu na skrzyżowanie bez zasygnalizowania prawa do wjazdu innym pojazdom itp. Wszelkie pomysły w tej kwestii pozostają w sferze spekulacji, ponieważ takie technologie nie zostały wprowadzone do tej pory. Niemniej rozwój inteligentnych, współpracujących ze sobą systemów komunikacyjnych [70] może być dobrym początkiem na drodze do radzenia sobie z tym czynnikiem ryzyka w przyszłości.

Nieuwaga kierowcy i błędy decyzyjne kierowcy. Chociaż nieuwaga kierowcy i błędy decyzyjne stanowią odrębne kategorie czynników ryzyka, wynikające z nich czynności, które mogą być przyczyną wypadku są podobne [71].W tej kategorii znajduje się szeroki wachlarz inteligentnych funkcji transportowych, które mogą ostrzegać kierowcę w przypadku wykrycia potencjalnych czynników mogących doprowadzić do kolizji

pojazdów. Działanie tych funkcji opiera się na monitorowaniu zachowania podczas jazdy i ostrzeganiu kierowcy po zidentyfikowaniu zagrożenia. Systemy unikania kolizji mają potencjał zwiększania bezpieczeństwa w ruchu poprzez zmniejszanie liczby wypadków oraz ich dotkliwości [72]. Systemy związane z boczną lub wzdłużną kontrolą sterowania pojazdem (utrzymanie pasa ruchu i pas wjazdu/wyjazdu), monitorowanie stanu kierowcy (zmęczenie/czujność), ostrzeżenia na skrzyżowaniu lub potencjalnych zderzeń z innymi pojazdami, przeszkodami i pieszymi, są w trakcie opracowywania.

5. Podział na główne kategorie aplikacji ITS

Aplikacje przedwypadkowe (tzw. pre-crash functions). Integralne cechy przedstawionych dotychczas czynników ryzyka są zupełnie inne od tych związanych z czynnikiem ludzkim. W szczególności drogowe warunki środowiskowe nie mogą być zmienione (z wyłączeniem oświetlenia ulicznego) dzięki wprowadzeniu omawianych dotychczas technologii. Jednak zachowanie kierowcy podczas jazdy w określonych warunkach pogodowych może być zmienione. Skutecznym sposobem radzenia sobie z czynnikami ryzyka pochodzenia środowiskowego jest podniesienie świadomości kierowców [73]. Dwa elementy otoczenia drogi mają zasadnicze znaczenie dla bezpieczeństwa: bezpieczeństwo integralne i elementy samouświadamiające. Bezpieczeństwo integralne zawiera potencjalnie bezpieczne/niebezpieczne elementy konstrukcyjne otoczenia drogowego. Samouświadamiająca droga (self-explaining road – SER) jest środowiskiem, które wywołuje bezpieczne zachowanie wyłącznie poprzez swoją konstrukcję [74]. W tym kontekście, aplikacje, które poprawiają właściwości drogi poprzez dostarczanie informacji o niekorzystnych warunkach otoczenia mogą poprawić bezpieczeństwo ruchu drogowego. Urządzenia takie posiadają wbudowane systemy RDS (Radio Data Systems lub ulepszone systemy nawigacyjne) oraz systemy o dedykowanej lokacji (znaki zmiennej treści). Kierowcy wyposażeni w informacje dotyczące na przykład nagłej ulewy, mogą zmienić trasę albo zmniejszyć prędkość jazdy, potencjalne zapobiegając w ten sposób wystąpieniu wypadku. Jako uzupełnienie do systemów informatycznych, które ostrzegają kierowców o słabym oświetleniu istnieją specjalne urządzenia poprawiające integralne elementy bezpieczeństwa w ciemnym otoczeniu; takie urządzenia poprawiają ostrość widzenia kierowcy (systemy poprawiające wzrok) w warunkach niskiej widoczności (mgła/noc) [75]. Poprawę widoczności osiąga się poprzez poprawę oświetlenia drogi i jej elementów przez dodatkową informację wizualną (często za pośrednictwem ekranu wyświetlacza w pojeździe), pokazującą obiekty na drodze niewidoczne w świetle reflektorów w nocy lub przy słabej widoczności [76]. Zwiększona w taki sposób „widoczność" pozwala kierowcom lepiej oceniać dystans oraz zwiększa ilość czasu na hamowanie. Dzięki temu wpływa na zwiększenie bezpieczeństwa w skutek zmniejszenia liczby wypadków i ich wpływu na niechronionych uczestników ruchu [77].

Aplikacje powypadkowe (tzw. post-crash functions). Ten rodzaj aplikacji dotyczy łagodzenia skutków wypadków. W tym celu opracowano dwie technologie poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego, mianowicie: wypadkowe i powypadkowe. Technologie wypadkowe łączą różne elementy aplikacji i urządzeń bezpieczeństwa pojazdu (pasy bezpieczeństwa i poduszki powietrzne) biorących udział w zderzeniu oraz wykrywanie charakterystyki kolizji. Technologie takie mogą zmniejszyć nasilenie wypadków i są określane jako "inteligentne ograniczenia". Pierwszym ich celem jest rozproszenie energii uderzenia biorąc pod uwagę siłę uderzenia i cechy pasażerów. Drugi cel obejmuje

wykrywanie awarii i wstępne rozmieszczenie odpowiednich urządzeń bezpieczeństwa w pojeździe. Inteligentne systemy ograniczające biorą pod uwagę takie zmienne jak masa pasażera, pozycja gdzie siedzi, użycie pasów bezpieczeństwa, hamowanie pojazdu w celu skontrolowania siły napięcia pasów bezpieczeństwa oraz użycie poduszki powietrznej w optymalny sposób [78]. Technologie powypadkowe działają natychmiast po wypadku i jedną z takich aplikacji jest *eCall*. Bezpośrednio po wypadku służby ratunkowe są powiadamiane automatycznie (może być również ręcznie). W trakcie połączenia przesyłane są dokładne informacje o lokalizacji pojazdu wraz z innymi istotnymi danymi dotyczącymi wypadku lub kierowcy.

6. Kierunki rozwoju ITS w Polsce

W chwili obecnej na obszarze całego kraju, należałoby zintensyfikować prace legislacyjno – organizacyjne w celu uzyskania możliwości swobodnego rozwoju rozwiązań typu ITS w Polsce. Od sektora publicznego należy oczekiwać, w szczególności na szczeblu rządowym, działań na rzecz rozwoju i upowszechniania ITS w Polsce zgodnie z przyjętym przez Radę Unii Europy planem oraz stworzenia odpowiednich regulacji prawnych umożliwiających i stymulujących ten rozwój. Oczekiwania wobec podmiotów zaangażowanych w prace nad upowszechnieniem ITS obejmują standaryzację rozwiązań ITS, w sposób zapewniający kompatybilność techniczną poszczególnych podsystemów ITS oraz otwartość tych podsystemów. Opracowanie i realizacja rządowej strategii rozwoju ITS zapewni możliwości biznesowe w tej dziedzinie. Należałoby również zapewnić niezbędne środki na kształtowanie świadomości społecznej w obszarze ITS, w tym na opracowanie materiałów informacyjnych i popularyzujących ITS, opracowanie materiałów edukacyjnych na temat ITS oraz na promocję i popularyzację ITS.

Należy pamiętać, iż jedną z barier rozwoju ITS w transporcie stanowią rozporządzenia i przepisy resortowe. Wdrożenie dostępnych, zaawansowanych rozwiązań ITS uzależnione jest od modyfikacji przepisów prawnych. Przyspieszenie procesu tych modyfikacji jest konieczne, m.in. ze względu na terminy wejścia w życie ustaw – aktów prawnych wyższego rzędu, krajowych i unijnych. Zwrócić należy również uwagę na konieczność modyfikacji wielu obowiązujących aktów prawnych tak, aby nie blokowały one wdrażania dobrych rozwiązań w dziedzinie zarządzania ruchu. Trzeba też wziąć pod uwagę zgodność projektów ITS z istniejącymi zapisami prawa. W szczególności należy zmienić istniejący stan prawny – tak, aby umożliwić szersze wykorzystanie podsystemów ITS w egzekwowaniu przestrzegania przepisów ruchu drogowego. Bardzo istotny jest fakt, iż Inteligentne Systemy Transportowe mogą przyczynić się do optymalizacji zarówno transportowej mobilności społeczeństwa, jak i jakości usług transportowych, co przekłada się m.in. na pozytywne skutki gospodarcze, zmniejszenie presji na środowisko oraz poprawę bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Ważnym czynnikiem warunkującym efektywność planowanych wdrożeń ITS jest zapewnienie interoperacyjności stosowanych aplikacji. Oznacza to umożliwienie współdziałania poszczególnych systemów telematycznych. Zachowanie interoperacyjności pozwala na tworzenie funkcjonalnie powiązanych grup systemów telematycznych oraz rozbudowanych struktur sieciowych. Dzięki takiemu zharmonizowanemu działaniu, możliwe jest zwiększenie skuteczności poszczególnych rodzajów transportu, ale także poprawa jakości ich współdziałania. Sieci interoperacyjnych systemów telematycznych ułatwiają bowiem dostosowanie poziomu dostępności usług transportowych (tzw. podaż usług) do zmiennych wymagań użytkowników, czyli popytu. Istotnym argumentem za

rozwojem ITS w skali całego kraju jest fakt, iż zastosowanie interoperacyjnych aplikacji ITS umożliwi w przyszłości koordynację działania systemów transportowych na terytoriach poszczególnych państw członkowskich UE oraz w wymiarze transgranicznym. W efekcie, umożliwiona będzie realizacja postulatu ciągłości usług transportowych – długofalowy cel, którego osiągnięciem władze Unii Europejskiej są silnie zainteresowane. W efekcie skoordynowanego stosowania ITS może wzrosnąć skuteczność i efektywność systemu transportowego. Konsekwencją tego procesu może być poprawa jakości usług transportowych, odczuwana zarówno przez mieszkańców dużych aglomeracji, jak i małych miejscowości.

Ważnym krokiem na drodze rozwoju narzędzi ITS jest koordynacja funkcjonowania transportu drogowego. Jest to zadanie bardzo trudne i skomplikowane, co wynika z typowych dla tego sektora cech. Przede wszystkim chodzi o indywidualizację procesów decyzyjnych dotyczących mobilności i zaspokajania potrzeb transportowych (wynikającą z istnienia częściowo odrębnych w sensie funkcjonalnym systemów gospodarczych: miejskich, regionalnych, krajowych, policentryczność i skomplikowaną hierarchię zarządzania infrastrukturą drogową (administracja drogowa o charakterze regionalnym i lokalnym dla dróg niższych kategorii) oraz rozproszenie rynku operatorów telekomunikacyjnych i dostawców usług (wykorzystujących aplikacje i świadczących usługi ITS). Zharmonizowane wdrożenie interoperacyjnych rozwiązań ITS będzie krokiem zapewniającym prawidłowe funkcjonowanie transportu drogowego zarówno w największych aglomeracjach jak i w małych miejscowościach. Jednakże skuteczność procesu wdrożenia zależy od zapewnienia interoperacyjności zastosowanych aplikacji ITS.

Do tej pory funkcjonuje kilka wdrożonych lokalnych systemów ITS w kilku miastach w Polsce. Są to:

System Tristar uruchomiony w Trójmieście. Jest to projekt inteligentnego systemu kierowania ruchem drogowym, za pomocą specjalnie zaprojektowanej sygnalizacji świetlnej, nawigacji satelitarnej i tzw. znaków o zmiennej treści, które zamontowanych na ulicach Trójmiasta.

Projekt „System ITS Poznań", wdrażany na terenie miasta Poznania, sytuuje się w tzw. „obszarze zachodnim" miasta (dzielnica Grunwald i częściowo Jeżyce). Przedmiotem projektu jest realizacja zintegrowanego inteligentnego systemu zarządzania ruchem drogowym w Poznaniu na obszarze zachodnim miasta.

Sieć Tablic Elektronicznej Informacji Pasażerskiej uruchomiona w Rybniku. W ramach realizacji Systemu Elektronicznej Informacji Przystankowej w Rybniku zainstalowanych zostało 167 tablic informacji przystankowej oraz stworzono oprogramowanie integrujące istniejący system rozkładów jazdy taboru autobusowego z nowo podłączonymi tablicami informacyjnymi.

Projekt „Inteligentne Systemy Transportowe w Bydgoszczy". W mieście stworzono system centralnego zarządzania ruchem i transportem publicznym. System ITS w Bydgoszczy opiera się na współpracy podsystemów: Sterowania ruchem, zarządzania transportem publicznym, monitoringu wizyjnego, naprowadzania pojazdów na drogi alternatywne oraz informacji parkingowej.

Projekt "Modernizacja i rozwój zintegrowanego systemu transportu zbiorowego w Olsztynie". W tym mieście postawiono sobie za cel unowocześnienie istniejącego systemu transportu zbiorowego i wzbogacenie go elementy ITS. Założeniem wdrażanego projektu ITS Olsztyn była poprawa standardów technicznych i użytkowych sieci transportowej miasta dla zagwarantowania prawidłowych warunków eksploatacji planowanego układu linii tramwajowej, linii autobusowych wraz z usprawnieniem ruchu

indywidualnego w zakresie uwzględniającym realizację priorytetu dla transportu publicznego. System ITS ma również wpłynąć na poprawę jakości funkcjonowania komunikacji miejskiej oraz poprawę komfortu korzystania z pojazdów przewoźnika poprzez zastosowanie systemu informacji pasażerskiej wewnątrz i na zewnątrz pojazdów.

Projekt: „System obszarowego sterowania ruchem" zrealizowany w Łodzi. Głównym celem projektu było poprawienie funkcjonowania komunikacji publicznej oraz upłynnienie ruchu na drogach na obszarze niemal całego miasta.

7. Podsumowanie

Na podstawie powyższych przykładów omówiono rozwiązania wykorzystujące technologie ITS, stworzone dla poprawy bezpieczeństwa drogowego. Zdefiniowano związek przyczynowo skutkowy między czynnikami ryzyka a rozwiązaniami wykorzystującymi systemy ITS. Wyniki badań zaczerpnięte z literatury wskazują na to, że inteligentne systemy transportowe przyczyniają się do poprawy bezpieczeństwa na drogach. Większość czynników ryzyka można eliminować poprzez zastosowanie odpowiedniego systemu ITS. Istnieje jednak kilka problemów, które pozostają nierozwiązane. W tych obszarach badania powinny być kontynuowane. Należy również podkreślić, że różnorodność rozwiązań inteligentnych i ich zastosowań w różny sposób wpływa na poprawę efektywności transportu drogowego oraz bezpieczeństwo ruchu drogowego. Na przykład w dużych aglomeracjach próby poprawienia efektywności transportu poprzez rozbudowę infrastruktury dają mierne efekty, ponieważ każda rezerwa przepustowości uzyskana w ten sposób jest natychmiast wykorzystywana. Jedynym rozwiązaniem jest w tym przypadku zastosowanie rozwiązań inteligentnych, głownie poprzez zaawansowane zarządzanie ruchem drogowym. Efektem zmodernizowania zarządzania ruchem drogowym jest podniesienie sprawności działającej infrastruktury bez jej dalszej rozbudowy, jak również znaczna poprawa bezpieczeństwa na szlakach i węzłach komunikacyjnych. Analogicznych przykładów można wymienić bardzo wiele. Świadczy to o tym, że nowoczesne systemy ITS powinny zawsze być zaprojektowane dla konkretnego zapotrzebowania, aby mogły działać skutecznie i efektywnie, spełniając pokładane w nich nadzieje użytkowników oraz konstruktorów i przynosząc zakładane korzyści.

ITS mają duży potencjał poprawy bezpieczeństwa na drogach. Jednak niezbędne są dalsze badania w celu określenia dokładnych skutków działania tych aplikacji przed kompleksową oceną ich przydatności, również w kwestii skutków oddziaływania długofalowego. Dla osiągnięcia pomyślnego wdrożenia inteligentnych aplikacji i w skutek tego zwiększenia bezpieczeństwa ruchu drogowego, niezbędne jest wykonanie badań uzupełniających. Plan takich badań powinien również być włączony do zintegrowanego planu strategicznego, obejmującego podnoszenie świadomości społecznej, zwiększenie akceptacji stosowanych systemów przez samych użytkowników, szkolenia wspieranie użytkowników oraz kwestie regulacji prawnych a także monitorowanie naruszeń i efektywność egzekwowania założeń wdrażanych systemów.

LITERATURA:

[1] Telematyka Transportu, http://www.it.pw.edu.pl/twt/loader.php?page=telematyka, 24 marzec 2008.

[2] http://www.itspolska.pl

[3] Koźlak A., „Inteligentne systemy transportowe jako instrument poprawy efektywności transportu", Uniwersytet Gdański, Wydział Ekonomiczny, Logistyka (2008) 2.
[4] Janusova L., Cicmancova S., „Improving Safety of Transportation by Using Intelligent Transport Systems", Procedia Engineering 134 (2016) str. 14 – 22.
[5] eSafetySupport, 2009. eSafety Interactive Car. Retrieved December 29, 2009 from http://www.esafetysupport.org/download/interactive car/light.html.
[6] CEC, 2006. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the Intelligent Car Initiative "Raising Awareness of ICT for Smarter, Safer and Cleaner Vehicles". Commission of the European Communities, Brussels (15.2.2006, COM(2006) 59 final).
[7] CEC, 2003. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament on Information and Communications Technologies for Safe and Intelligent Vehicles. Commission of the European Communities, Brussels (15.9.2003, COM(2003) 542 final).
[8] Hartman, K., Strasser, J., 2005. Saving lives through advanced vehicle safety technology. In: Intelligent Vehicle Initiative Final Report FHWA-JPO-05-057. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
[9] Schulze, M. 2006. International Initiatives. Europe in Comparison to USA and Japan. Daimler Chrysler. February 28, 2006. Retrieved 11 June 2009 from http://ec.europa.eu/information society/activities/esafety/doc/esafety 2006/ spectrum 28feb2006/11 spectrum workshop 060228.pdf.
[10] eSafety, 2008. eSafety Effects Database. Retrieved April 15, 2008 from http://www.esafety-effects-database.org.
[11] U.S. DOT, 2008. ITS evaluation homepage of the United States Department of Transportation., http://www.its.dot.gov/evaluation.
[12] TEMPO, 2008. Evaluation Library of the Euroregional Evaluation Expert Group., http://tempo.austriatech.org.
[13] Perrett, K.E., Stevens, A., 1996. Review of the Potential Benefits of Road Transport Telematics. TRL Report 220. Transport Research Laboratory, Crowthorne
[14] ETSC, 1999. Intelligent Transportation Systems and Road Safety. European Traffic Safety Council, Brussels.
[15] Öörni, R., "Eräiden joukko- ja tieliikenteen telematiikkasovellusten kannattavuus Suomen oloissa". "Economic feasibility of some public transport and road ITS applications in Finnish conditions". FITS Publications 35/2004, Ministry of Transport and Communications Finland, Helsinki.
[16] Kreiss, J.-P., Schüler, L., Langwieder, K., 2005. The Effectiveness of Primary Safety Features in Passenger Cars in Germany. ESV-paper No. 05-0145. 19th ESV Conference, Washington, DC
[17] Vaa, T., Penttinen, M., Spyropoulou, I., 2007. Intelligent transport systems and effects on road traffic accidents - state of the art. IET Intelligent Transport Syst. 1 (June (2)), 81–88.
[18] Linder, A., Kircher, A., Vadeby, A., Nygårdhs, S., 2007. Intelligent Transport Systems (ITS) in Passenger Cars and Methods for Assessment of Traffic Safety Impact. VTI rapport 604A. Swedish National Road and Transport Research Institute, Linköping.
[19] eSafety Forum, 2007a. Final Report and Recommendations of the Implementation Road Map Working Group, eSafety Forum. December 20, 2007.
[20] Spyropoulou, I., Penttinen, M., Karlaftis, M., Vaa, T., Golias, J., 2008. ITS solutions and accident risks: prospective and limitations. Transport. Rev.: Transnatl. Transdiscipl. J. 28 (5), 549–572.
[21] Elvik, R., Vaa, T., 2004. The Handbook of Road Safety Measures. Elsevier Science, Oxford.
[22] Hauer, E., 1997. Observational Before-After Studies in Road Safety. Estimating the Effect of Highway and Traffic Engineering Measures on Road Safety. Pergamon.

[23] Häkkinen, S., 1978. Tapaturmateoriat ja niiden kehittäminen. Accident Theories and Development of Theories. Report No. 36/1978, Helsinki University of Technology, Laboratories of Industrial Management and Industrial Psychology, Otaniemi.
[24] Luoma, J., 2007. Need for new paradigm in road safety? In: Keynote Paper for the 17th Nordic Research Conference on Safety, NOFS 2007, Tampere, Finland, June 13–15, 2007.
[25] Little, I.M.D., 2002. Ethics, Economics, and Politics. Oxford Scholarship Online Monographs, October 2002.
[26] Cacciabue, P.C., Saad, F., 2008. Behavioural adaptations to driver support systems: a modelling and road safety perspective. Cogn. Tech. Work 10, 31–39.
[27] Várhelyi, A., Hjälmdahl, M., Hydén, C., Draskóczy, M., 2004. Effects of an active accelerator pedal on driver behaviour and traffic safety after long-term use in urban areas. Accid. Anal. Prev. 36, 729–737.
[28] Alkim, T., Bootsma, G., Looman, P., 2007. The assisted driver. Rijkswaterstaat, Roads to the Future. Delft, April 2007.
[29] Rämä, P., 2001. Effects of Weather-controlled Variable Message Signing on Driver Behavior. VTT Publications 447. Technical Research Centre of Finland, Espoo.
[30] Rämä, P., Kulmala, R., 2000. Effects of variable message signs for slippery road conditions on driving speeds and headways. Transport. Res. F 3, 85–94.
[31] Luoma, J., Rämä, P., Penttinen, M., Anttila, V., 2000. Effects of variable message signs for slippery road conditions on reported driver behaviour. Transport. Res. F 3, 75–84.
[32] Rudin-Brown, C.M., Parker, H.A., 2004. Behavioural adaptation to adaptive cruise control (ACC): implications for preventive strategies. Transport. Res. F 7, 59–76.
[33] Ben-Yaacov, A., Maltz, M., Shinar, D., 2002. Effects of an in-vehicle collision avoidance warning system on short- and long-term driving performance. Hum. Factors 44, 335–342.
[34] Stanton, N.A., Pinto, M., 2000. Behavioural compensation by drivers of a simulator when using a vision enhancement system. Ergonomics 43, 1359– 1370.
[35] Biding, T., Lind, G., 2002. Intelligent speed adaptation (ISA), Results of large-scale trials in Borlänge, Lidköping, Lund and Umeå during 1999–2002. Publication 2002:89E. Swedish National Road Administration, Borlänge.
[36] Zheng, P., McDonald, M., Wu, J., 2005. Evaluation of CWCA systems using empirical driving data. In: Paper Presented at the 8th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems.
[37] Fridström, L., Ifver, J., Ingebrigtsen, S., Kulmala, R., Thomsen, L., 1995. Measuring the contribution of randomness, exposure, weather, and daylight to the variation in road accident counts. Accid. Anal. Prev. 27, 1–20.
[38] Vonk, T., van Rooijen, T., Hogema, J., Feenstra, P., 2007. Do Navigation Systems Improve Traffic Safety. TNO Report 2007-D-R0048/B. Netherlands Organisation for Applied Scientific Research TNO.
[39] U.S. DOT, 2005. Benefits, Costs and Lessons Learned. Intelligent Transportation Systems 2005 Update. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Prepared by Mitretek Systems (May, 2005).
[40] Assum, T., Bjørnskau, T., Fosser, S., Sagberg, F., 1999. Risk compensation—the case of road lighting. Accid. Anal. Prev. 31, 545–553.
[41] Lehtonen, M.J., Kulmala, R., 2002. The benefits of a pilot implementation of public transport signal priorities and real-time passenger information. In: Transportation Research Record 1799. Transportation Research Board, Washington, DC, pp. 18–25.
[42] Laine, T., Pesonen, H., Moilanen, P., "Joukkoliikenteen internetreittineuvontapalvelun vaikutusten ja kannattavuuden arviointi". "An Assessment of the Effects and Cost-effectiveness of a Public Transport Journey Planner". FITS Publications 22/2003, Ministry of Transport and Communications Finland, Helsinki.
[43] Imnan, V.W., Peters, J.I., 1996. TRAVTEK Global Evaluation and Executive Summary. Report No. FHWA-RD-96-031. Federal Highway Administration.

[44] Litwin M., Oskarbski J., Jamroz K. (2006), Inteligentne Systemy Transportu – Zaawansowane Systemy Zarządzania Ruchem, w: I Polski Kongres Drogowy "Lepsze drogi - lepsze życie": referaty. 1st Polish Road Congress "Better roads - better life": proceedings, Polski Kongres Drogowy, Warszawa, s. 167-174

[45] Vanderschuren M., „Safety improvements through Intelligent Transport Systems: A South African case study based on microscopic simulation modelling", Accident Analysis and Prevention 40 (2008) 807–817.

[46] http://www.benefitcost.its.dot.gov/

[47] PIARC Committee on Intelligent Transport Systems, 2004. In: Miles, J.C., Chen, K. (Eds.), ITS Handbook, 2nd ed. World Road Association PIARC.

[48] Intelligent Transport Systems in Britain, CD published by ITS United Kingdom, November 2003

[49] Mkhize, S., Thomas, D., 2005. e-Mobility: South African Freeway Management. In: 24th Annual South African Transport Conference, Pretoria, SA.

[50] Gupta, N., Bisantz, A. M. and Singh, T. (2002) The effects of adverse condition warning system characteristics on driver performance: an investigation of alarm signal type and threshold level, Behaviourand Information Technology, 21(4), pp. 235–248.

[51] Kolisetty, V. G. B., Iryo, T., Asakura, Y. and Kuroda, K. (2006) Effect of variable message signs on driver speed behavior on a section of expressway under adverse fog conditions—a driving simulator approach, Journal of Advanced Transportation, 40(1), pp. 47–74.

[52] http://www.esafety-effects-database.org

[53] Sihvola, N., Schirokoff, A. and Luoma, J. (2006) Impacts of an automatic emergency call system on accident consequences, in: Proceedings of the 13th World Congress on Intelligent Transport Systems, 8–12October 2006 (London: ERTICO).

[54] Sihvola, N., Luoma, J., Schirokoff, A., Karkola, K., Salo, J., 2009. In-depth evaluation of the effects of an automatic emergency call system on road fatalities. Eur. Transport Res. Rev. 1, 99–105.

[54] Almqvist, S., Hyden, C. and Risser, R. (1991) Use of speed limiters in cars for increased safety and a better environment, Transportation Research Record, 1318, pp. 34–39.

[55] Vlassenroot, S., Mol, J. (2004) "Trial on intelligent speed adaptation in Ghent, Belgium: the results on acceptance and driving-behavior of the test-drivers", Proceedings of the ITS in Europe Congress, 24–26 May 2004 (Budapest: ERTICO).

[56] Jamson, S., "Would those who need ISA, use it? Investigating the relationship between drivers speed choice and their use of a voluntary ISA system", Transportation Research F, 9(3), (2006) pp. 195–206.

[57] Regan, M., Young, K., Triggs, T. J., et al., "Impact on driving performance of intelligent speed adaptation, following distance warning and seatbelt reminder systems: key findings from the TAC Safe Car project", IEE Proceedings of Intelligent Transport Systems, 153 (1), (2006) pp. 51–62.

[58] Wood, K., Stevens, A. and Fraser, I., "Effects of external vehicle speed limiting and headway advice on motorway traffic", in: Proceedings of the 11th International Conference on Road Transport Information and Control, 19–22 March 2002 (London: IEEE).

[59] Carsten, O.M.J., Fowkes, M., External Vehicle Speed Control Phase 1 results: Exclusive summary. University of Leeds and Motor Industry Research Association, 1998 UK.

[60] Balz W., Zhu, J., "Nebelwarnsystem A8 Hohenstadt-Reidheim, Wirkungsanalyse, Landesamt fűr Strassenwesen", Baden-Wűrttenberg & PTV Consult GmbH (in German) 1994.

[61] Rämä, P., "Sääjakelitietoon perustuvanliiken teenohjausjärjestelmän vaikutukset Kotka-Hamina-moottoritiellä", Helsinki, Finnish National Road Administration, Finnra reports 1/1997 (in Finnish).

[62] Carsten, O. M. J. and Tate, F. N., "Intelligent speed adaptation: accident saving and cost-benefit analysis", Accident Analysis and Prevention, 37 (3) (2005), pp. 407–416.
[63] ICADTS (2001) Alcohol Ignition Inter-lock Devices I: Position Paper. ICADTS (ISBN 90–802908–4–x).
[64] Mathijssen, M. P. M., "Drink driving policy and road safety in the Netherlands: a retrospective analysis", Transportation Research E, 41 (5) (2005), pp. 395–408.
[65] ETSC (2005) In-Car Enforcement Technologies Today. ETSC Report (ISBN 9076024200).
[66] Bjerre, B. (2005) Primary and secondary prevention of drink driving by the use of alcolock device and program: Swedish experiences, Accident Analysis and Prevention, 37(6), pp. 1145–1152.
[67] Beirness, D. J., Marques, P. M., Voas, R. B. and Tippetts, A. S., "The impact of mandated versus voluntary participation in the Alberta ignition interlock program", in: Proceedings of the 15th International Conference on Alcohol, Drugs and Traffic Safety, 22–26 May 2000 (Stockholm: ICADTS).
[68] SARTRE 2 (1998), "The Attitude and Behavior of European Car Drivers to Road Safety". SWOV Institute for Road Safety Research, European Commission.
[69] Tsugawa, S., Kato, S., Matsui, T., Naganawa, H. and Fuji, H. (2000) An architecture for cooperative driving of automated vehicles, in: Proceedings of the 2000 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, 1–3 October 2006 (Dearborn, MI: IEEE).
[70] Wickens, C. D. and Hollands, J. G. (2000) Engineering Psychology and Human Performance (Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall).
[71] de Visser, W., Marchau, V. A. W. J. and van der Heijden, R. E. C. M. (1999) The cost-effectiveness of future driver support systems, in: Proceedings of the 32nd International Symposium on Automotive Technology and Automation, 14–18 June 1999 (Vienna: International Symposium on Automotive Technology & Automation).
[72] Monsere, C., Nolan, C., Bertini, R., Anderson, A. and El-Seoud, T. (2005) Measuring the impacts of speed reduction technologies: a dynamic advanced curve warning system evaluation, Transportation Research Record, 1918, pp. 98–107.
[73] Theeuwes, J. and Godthelp, H. (1995) Self-explaining roads, Safety Science, 19(2–3), pp. 217–225.
[74] CRA (Charles River Associates Incorporated) (1998) Consumer Acceptance of Automotive Crash Avoidance Devices: A Report of Qualitative Research. USDoT, CRA Interim Report (Project No. 852–05).
[75] Hollnagel, E. and Källhammer, J-E. (2003) Effects of a Vision Enhancement System (NVES) on driving: results from a simulator study, in: Proceedings of the 2nd International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, 7–12 June 2003 (Park City, UT: Public Policy Center).
[76] Barham, P. (2001) The effect of an infrared driver support system on driver behaviour, in: D. Harris(Ed.) Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics: Vol. 5. Aerospace and Transportation Systems ,pp. 407–413 (Hants: Ashgate).
[77] PRISM (2005) Report Reference R1: State of the Art Report on Technology & Patent Search Data (TUG Graz University of Technology, European Commission).