

Dr hab. inż. Tomasz Kamiński
Instytut Transportu Samochodowego
ORCID: 0000-0002-6695-4136
e-mail: tomasz.kaminski@its.waw.pl

Kooperacyjne Inteligentne Systemy Transportowe (C-ITS) jako rozwiązania podnoszące bezpieczeństwo i efektywność transportu drogowego

Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS) as solutions increasing the safety and efficiency of road transport

Streszczenie

W artykule opisano rozwiązania z zakresu C-ITS, które były uwzględnione w analizach przeprowadzonych dla potrzeb projektu RID 4D, pt. „Wpływ stosowania usług Inteligentnych Systemów Transportowych na poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego”, zrealizowanego na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad oraz Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (umowa nr DZP/RID-141/7/NCBR/2016).

Rozwiązania z zakresu C-ITS stanowią kolejny etap rozwoju Inteligentnych Systemów Transportowych. Dane z tych systemów mogą być wykorzystywane w ramach tzw. lokalnych map dynamicznych, które stanowią narzędzie łączące statyczne informacje o drogach, infrastrukturze drogowej i przydrożnej, z dynamiczną informacją drogową. Zakres danych dynamicznych obejmuje przesyłane do pojazdów informacje m. in. o incydentach drogowych czy awaryjnym hamowaniu, a ich wykorzystanie może się przyczynić do wzrostu bezpieczeństwa drogowego. Ponadto zwiększenie liczby dostępnych danych umożliwi precyzyjniejsze reagowanie na zagrożenia przez systemy wspomagania kierowcy w sytuacjach awaryjnych, w tym przez systemy stosowane w pojazdach autonomicznych.

W artykule opisano również możliwość wsparcia rozwoju elektromobilności przez rozwiązania z zakresu ITS, głównie dzięki sprawniejszemu informowaniu kierowców o możliwości ładowania akumulatora trakcyjnego samochodu i zastosowaniu inteligentnych plenerów podróży, uwzględniających poziom naładowania akumulatora, ale również rozmieszczenie i dostępność punktów ładowania.

Słowa kluczowe:

ITS, C-ITS, systemy kooperacyjne, bezpieczeństwo ruchu drogowego

Abstract

The article describes C-ITS solutions that were included in the analyzes carried out for the purposes of the RID 4D project, entitled "Impact of the use of Intelligent Transport Systems services on the level of road safety" implemented at the request of the General Directorate for National Roads and Motorways and the National Center for Research and Development (contract no. DZP/RID-141/7/NCBR/2016).

C-ITS solutions are the next stage in the development of Intelligent Transport Systems. Data from these systems can be used as part of the so-called Local Dynamic Maps, which are a tool combining static information about roads, road and roadside infrastructure with dynamic road information. The dynamic data range includes information sent to vehicles, including about road incidents or emergency braking, and their use can contribute to increasing road safety. In addition, increasing the amount of data available will enable more accurate response to threats by driver assistance systems in emergency situations, including systems used in autonomous vehicles.

The article also describes the possibility of supporting the development of electromobility by ITS solutions, mainly due to more efficient information to drivers about the possibility of charging a car traction battery and the use of intelligent outdoor locations, taking into account the battery level, as well as the location and availability of charging points.

Key words:

ITS, C-ITS, Cooperative Intelligent Transport Systems, transport safety

JEL: L62, R41

Wprowadzenie

Wdrażanie polityki transportowej miasta jest jednym z priorytetów w zakresie zastosowania Inteligentnych Systemów Transportowych (ITS). Systemy te mogą usprawniać ruch drogowy, dozować wjazd i wyjazd pojazdów do centrum miasta. System może również wpływać na zmniejszenie maksymalnych prędkości pojazdów i redukować liczbę niezbędnych zatrzymań, w szczególności na odcinkach dróg, na których często dochodzi do incydentów drogowych. Do najważniejszych efektów zastosowania ITS należą: ogólna poprawa efektywności funkcjonowania systemu transportowego (w szczególności skrócenie czasu przejazdu, redukcja liczby zatrzymań i incydentów drogowych), zwiększenie poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz redukcja emisji szkodliwych składników spalin, pyłów i hałasu.

Niezależnie od rozwoju rozwiązań ITS związanych z infrastrukturą drogową, intensywnie rozwijają się elektroniczne systemy komunikacji pojazdów z otoczeniem, w tym z innymi pojazdami — tzw. systemy C-ITS (ang. *Cooperative Intelligent Transport Systems*). Jako rozwinięcie tej koncepcji prowadzone są również prace nad pojazdami „połączonymi i zautomatyzowanymi” (ang. *Connected and Automated Driving*), które będą współpracowały z drogowymi rozwiązaniami ITS, w celu efektywnego wykorzystania danych, dostępu do bieżącej informacji i reagowania na aktualne potrzeby i zaistniałe zagrożenia. Pojazdy te będą posiadały funkcje umożliwiające częściową lub pełną automatyzację prowadzenia pojazdu.

Rozwijana jest także koncepcja MaaS (ang. *Mobility as a Service*), polegająca na świadczeniu usługi transportowej z wykorzystaniem różnych środków transportu, ale bez konieczności posiadania żadnego z nich. Cała podróż jest wówczas planowana i koordynowana przez system informatyczny, który proponuje użytkownikowi trasę przejazdu i nadzoruje przejazd różnymi środkami transportu (kolej, metro, autobus, tramwaj, taksówka, rower miejski, hulajnoga itp.), dokonując ewentualnych zmian, a także np. zakupu biletów. Jednym z elementów podróży może być odcinek drogi pokonywany pieszo. W ten sposób użytkownik jest zwolniony z obowiązku posiadania własnego środka transportu, jak również z ewentualnych opłat za parkowanie. Zmniejsza się też tzw. „całkowity koszt dla użytkownika”, który nie musi tracić czasu na zakup biletów. Rozwiązanie to ogranicza koszty podróży i zanieczyszczenie powietrza, w szczególności tam gdzie jest to bardzo istotne — w miastach. Zwiększa też zdecydowanie wykorzystanie środków transportu, które w ramach tradycyjnych rozwiązań (posiadanie pojazdu), są wykorzystywane średnio w około 5%. Przez pozostałą część dobrych jazd nie są użytkowane.

Projekt RID 4D

W 2018 r. zakończył się projekt RID 4D „Wpływ usług ITS na bezpieczeństwo ruchu drogowego”, zrealizowany na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad oraz Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (umowa nr DZP/RID-141/7/NCBR/2016). W ramach projektu dokonano oceny wpływu rozwiązań ITS na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Wykorzystano badania symulacyjne, przy zastosowaniu wysokiej klasy symulatorów jazdy i oprogramowania do symulacji ruchu drogowego. Jednym z elementów projektu było określenie wpływu informacji przekazywanych za pośrednictwem oznakowania drogowego kierowcom na bezpieczeństwo ruchu drogowego, w tym w szczególności na zachowania kierowców.

W tym celu zrealizowano badania z wykorzystaniem wysokiej klasy symulatorów jazdy, którymi dysponuje Instytut Transportu Samochodowego. Wyniki tych pomiarów zostały następnie wykorzystane do kalibracji oprogramowania do mikro-, mezo- i makrosymulacji ruchu drogowego, obejmujących pojedyncze skrzyżowania, ciągi dróg i obszary miasta. Badania symulacyjne zostały wykonane przez Politechnikę Gdańską będącą jednym z członków konsorcjum realizującego projekt. Do przeprowadzenia badań punktowego wpływu oznakowania na zachowanie kierowców użyto symulatora samochodu osobowego AS 1200-6. W przypadku Inteligentnych Systemów Transportowych informacje i polecenia przekazywane są kierowcom przy użyciu tablic i znaków o zmiennej treści. W celu określenia wpływu tego typu urządzeń na zachowanie kierowców w środowisku symulacyjnym opracowane zostały cztery scenariusze badawcze, w ramach których rozmieszczono od trzech do sześciu tablic lub znaków o zmiennej treści. W jednym z przypadków zastosowano tradycyjne oznakowanie statyczne z ograniczeniem prędkości. Na tablicach prezentowane były informacje dla kierowców o aktualnej sytuacji drogowej, ograniczenia prędkości i polecenia wykonania manewrów. Wzory tablic i znaków o zmiennej treści zostały zaprojektowane zgodnie z dokumentem opracowanym przez Generalną Dyrekcję Dróg Krajowych i Autostrad „Wzorcowe komunikaty na znaki o zmiennej treści w ramach modułu 3.2.1.14.4: Przekazywanie informacji i instrukcji dla kierowców wraz z wymaganiami dla bramowych konstrukcji wsporczych”, opublikowanym 27.03.2017 r. (wersja 2). Przykładowe przypadki, które poddano analizie obejmują oznakowanie opisane w tabeli 2. Wyniki analiz przedstawiono w tabeli 1. Zawiera ona procentową redukcję prędkości pojazdu 200 m przed znakiem/tablicą o zmiennej treści (ΔV_1), 30 m (ΔV_2) przed znakiem/tablicą i na wysokości ich montażu (ΔV_3).

Tabela 1

Wyniki eksperymentu przeprowadzonego z wykorzystaniem symulatora jazdy AS 1200-6

Rodzaj oznakowania	ΔV_1	ΔV_2	ΔV_3
Ograniczenie prędkości na tablicy	2,06	3,69	13,57
Ograniczenie prędkości ze znakiem śliska jezdnia	4,96	6,60	16,19
Ograniczenie prędkości ze znakiem wypadek drogowy	3,52	4,74	14,65
Ograniczenie na tablicy, następnie VMS — ograniczenie prędkości	3,48	3,62	5,19
Ograniczenie statyczne	6,59	8,60	14,38

Źródło: Opracowanie własne.

W tabeli 1 opisano jeden z eksperymentów wykonanych w ramach projektu RID 4D, w którym oceniono kompleksowo wpływ rozwiązań ITS na Bezpieczeństwo Ruchu Drogowego. Należy mieć jednak na uwadze, że rozwiązania ITS podlegają stałemu rozwojowi. W ramach kolejnych etapów ich rozwoju stosowane będą rozwiązania z zakresu C-ITS, podnoszące możliwości rozwiązań z zakresu szybkiego informowania o zagrożeniach i zwiększające ilość informacji, stanowiącej podstawę rozwiązań służących ochronie zdrowia i życia uczestników ruchu drogowego.

Rozwiązania C-ITS

Rozwiązania z zakresu C-ITS stanowią kolejny etap rozwoju Inteligentnych Systemów Transportowych. Prace nad tymi systemami obejmowały długotrwały okres standaryzacji urządzeń m.in. w zakresie koncepcji wymiany i interpretacji danych, w celu zapewnienia interoperacyjności rozwiązań. Dane będą transmitowane między pojazdami a infrastrukturą (V2I), infrastrukturą a pojazdami (I2V) oraz między pojazdami (V2V). Systemy te są łącznie określane jako V2X. Głównymi urządzeniami odpowiedzialnymi za komunikację są: jednostka pokładowa OBU (ang. *OnBoard Unit*) zainstalowana w pojeździe oraz urządzenie instalowane w ramach infrastruktury drogowej RSU (ang. *RoadSide Unit*). W celu utworzenia środowiska pracy (architektury) rozwiązań ITS konieczne jest określenie dziedzin/obszarów, w ramach których będą one wykorzystywane. Obejmują one:

- obszar mobilny z elementami: pojazd („V”) oraz urządzenie mobilne („M”),
- obszar infrastruktury zawierający urządzenia drogowe („R”) oraz centra zarządzania ruchem („Centers”),
- obszar ogólny, z elementami infrastruktury internetowej („Internet”) oraz infrastruktury prywatnej („Private”) (Bechler, Kosch, Schroth, Strassberger, 2012, s. 38–40).

Każdy z wymienionych elementów pozostaje w relacji z pozostałymi elementami wymienionych obszarów. Po określeniu relacji możliwe jest zdefiniowanie sposobów komunikacji — za pośrednictwem sieci bezprzewodowej lub tradycyjnej sieci kablowej/światłowodowej. Wszystkie urządzenia muszą współdziałać w ramach ustalonej wcześniej architektury systemu, żeby uniknąć niepożądanych połączeń między urządzeniami.

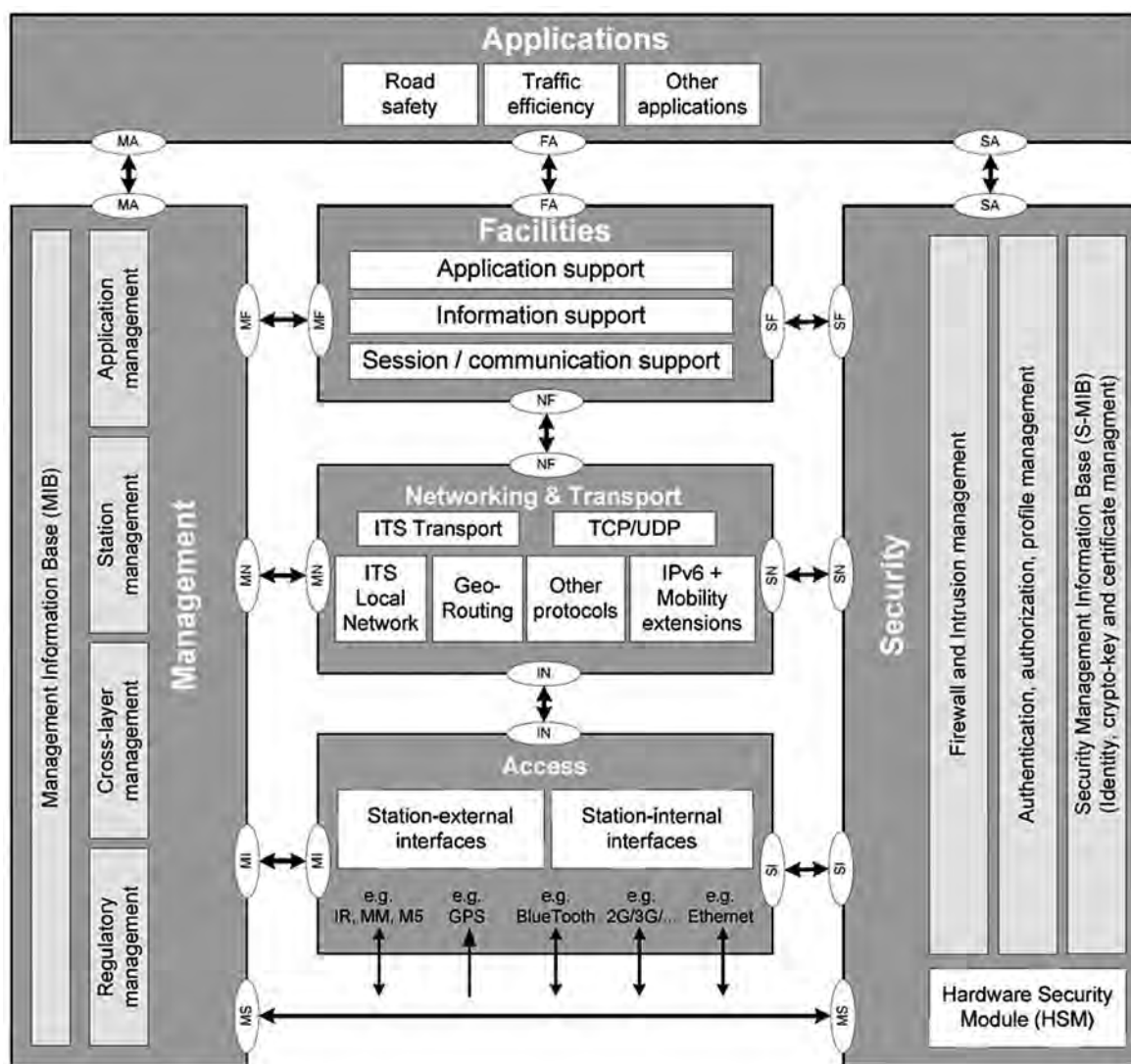
Ogólne podstawy dla komunikacji w zakresie rozwiązań ITS opisano w opublikowanej w 2010 r. Europejskiej Architekturze Komunikacji ITS. Została ona opracowana jako Europejski Standard Telekomunikacji, przez Komitet Techniczny Inteligentnych Systemów Transportowych. Komitet ten działa przy Europejskim Instytucie Norm Telekomunikacyjnych ETSI TC ITS (ang. *European Telecommunications Standards Institute, Technical Committee, Intelligent Transport System*). Przykładową architekturę komunikacyjną przedstawiono na rysunku 1.

Architektura ta została opracowana na podstawie modelu ISO OSI RM (ang. *ISO OSI Reference Model*) przedstawionego wspólnie przez Międzynarodową Organizację Normalizacyjną ISO (ang. *International Organization for Standardization*) oraz Zrzeszenie Normalizacji Telekomunikacji ITU-T (ang. *International Telecommunication Union — Telecommunication Standardization Sector*). Architektura ta definiuje 7 warstw struktury systemów sieciowych, przy użyciu modelu OSI (*Open Systems Interconnection Reference Model* — model odniesienia łączenia systemów otwartych). Trzy środkowe bloki na rysunku 1 (*Access* — Blok Dostępu, *Networking & Transport* — Blok Sieciowy i Warstwy Transportowej, *Facilities* — Blok Usług) odpowiadają siedmiu warstwom opisującym strukturę systemów sieciowych OSI, zgodnie z ETSI EN 302 665 V1.1.1 (2010):

- Blok Dostępu — reprezentuje warstwę fizyczną (1) i warstwę łącza danych (2) modelu OSI,
- Blok Sieciowy i Warstwy Transportowej — reprezentuje warstwę sieciową (3) i warstwę transportową (4) modelu OSI,

Rysunek 1

Przykładowa architektura rozwiązań komunikacyjnych systemów ITS



Źródło: ETSI EN 302 665 V1.1.1 (2010).

- Blok Usług — reprezentuje warstwę sieci (5), warstwę prezentacji (6) oraz warstwę aplikacji (7) modelu OSI.

„Blok Dostępu” realizuje funkcje komunikacji ze środowiskiem zewnętrznym, przy zachowaniu zasad kontroli dostępu i sterowania łączem logicznym. Ze względu na wspieranie różnych technologii komunikacyjnych blok ten realizuje również funkcje adaptacji komunikacji, bezpieczeństwa i zarządzania.

„Blok Sieciowy i Warstwy Transportowej” realizuje obsługę i zarządzanie protokołami warstwy sieciowej i transportowej połączenia. Stosowane są m.in. protokoły sieciowe i transportowe, w tym rozwiązania w tym zakresie, dedykowane do zadań C-ITS. Protokół IPv6 może współpracować z istniejącymi rozwiązaniami wykorzystującymi IPv4.

„Blok Usług” — obejmuje funkcje wsparcia, do których należą m.in. utrzymanie aplikacji ITS (pobieranie i aktualizacja), interfejsów HMI (ang. *Human Machine Interface*), lokalnych map dynamicznych (ang. *Local Dynamic Map*), protokołu SOA (ang. *Service Oriented Architecture*), odpowiedzialnego m.in. za dodatkowe usługi biznesowe, połączenia i przekazywanie danych o stacjach ITS, czy zarządzanie wymianą danych między punktami C-ITS.

Blok „Applications” służy do integracji usług, przy zachowaniu odpowiedniego stopnia bezpieczeństwa, dostępności i niezawodności aplikacji, braku nadmiernych opóźnień i zagwarantowaniu wymaganych parametrów wydajności w zakresie przetwarzania i teletransmisji danych.

Bloki „Management” i „Security” mają zastosowanie w zakresie zarządzania urządzeniem ITS oraz

Tabela 2

Zestaw wymagań dla rozwiązań teleinformatycznych stosowanych w systemach ITS

Rodzaj wymagania	Zakres zastosowania ITS						
	Bezpieczeństwo ruchu drogowego			Efektywność ruchu		Komfort podróży	
	Zapobieganie kolizjom	Powiadamianie o znakach drogowych	Zarządzanie zdarzeniami	Zarządzanie ruchem	Monitorowanie drogi	Rozrywka	Informacja ogólna
Tryb komunikacji	V2V/V2I ^d	I2V ^d	V2V/I2V ^d	V2I/V2I ^d	2V/I2V ^d	I2V	2V/V2V ^d
Kierunkowość	1/2	1	1	1/2	1	1/2	1/2
Opóźnienie	Bardzo niskie	Niskie	Niskie	Niskie/średnie	Niskie	Średnie	Średnie
Prędkość transmisji	Średnia	Średnia	Średnia	Niska/średnia	Niska/średnia	Wysoka	Niska/średnia
Zasięg	Mały	Mały	Mały/średni	Mały/średni	Mały/średni	Duży	Średni/duży
Tryb transmisji	1	1/3	1/2	1	1/3	1	1
Niezawodność	Wysoka	Wysoka	Wysoka	Średnia/wysoka	Średnia/wysoka	Średnia	Średnia
Priorytetowość komunikacji	Wysoka	Wysoka	Wysoka	Średnia	Średnia	Średnia	Średnia

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Dar, Bakhouya, Gaber, Wack, Lorenz, 2010, p. 156–162.

zarządzania dostępem do Bazy Zarządzania Informacją (ang. *Management Information Base*) dla urządzeń w strukturze telekomunikacyjnej systemu.

Wymienione bloki funkcjonalne są połączone ze sobą przy użyciu dedykowanych interfejsów lub odpowiednich punktów dostępowych, stosowanych w przypadku komunikacji systemu z otoczeniem. Interfejsy komunikacyjne są odpowiedzialne za komunikację wewnętrzną i zewnętrzną (system-otoczenie). Ze względu na realizowane przez nie funkcje są one zaliczane do jednej z czterech grup, jako:

- host ITS — pełniący funkcję najmniejszego elementu składowego systemu ITS,
- brama ITS — służąca do łączenia dwóch różnych protokołów w ramach 5–7 warstwy modelu OSI,
- punkt dostępowy ITS — stosowany w celu połączenia, w ramach 3-ciej warstwy modelu OSI, dwóch różnych protokołów (przy czym możliwa jest konwersja danych na obsługiwanej technologii komunikacji),
- punkt dostępowy graniczny ITS — stanowiący „Punkt dostępowy ITS”, stosowany w połączeniach z sieciami zewnętrznymi, w których nie zostały zastosowane reguły zarządzania i bezpieczeństwa znane z rozwiązań ITS.

Istotnym elementem rozwiązań ITS jest zapewnienie możliwości komunikowania się poszczególnych elementów systemu w sposób bezpieczny, stabilny (zachowana dostępność i niezawodność) i szybki (minimalizacja opóźnień). W celu realizacji tego postulatu Instytut Inżynierów Elektryków i Elektroników IEEE (ang. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*) opracował protokół wymiany danych WAVE (ang. *Wireless Access in Vehicular Environments*) dla sieci bezprzewodowych w środowisku drogowym. Wykorzystano w nim standard IEEE 802.11p stanowiący zatwierdzoną wersję rozwojową standardu IEEE 802.11, stosowanego w przypadku dostępnych

powszechnie urządzeń stosujących komunikację o oznaczeniu handlowym „WiFi”.

W ramach IEEE 802.11p zdefiniowano rozszerzenia standardu wspierające Inteligentne Systemy Transportowe, umożliwiające komunikację między pojazdami poruszającymi się z dużymi prędkościami oraz pojazdami a infrastrukturą. Pasma częstotliwości przeznaczonych dla rozwiązań ITS obejmuje zakres 5,9 GHz (5,85–5,925 GHz). Transmisja danych może być również prowadzona w ramach alternatywnego standardu, jakim jest ETSI ITS-G5. Obecnie nie zapadła jeszcze ostateczna decyzja co do standardu, jaki będzie powszechnie użyty w rozwiązaniach C-ITS.

Standardem, który łączy oba wcześniej wymienione standardy komunikacji jest IEEE 1609, stanowiący wysoko-poziomowy standard definiujący formaty wymienianych komunikatów i sposób ich przetwarzania w zakresie rozwiązań WAVE, jak również metody zapewnienia bezpieczeństwa w zakresie zarządzania i bezpiecznego wykorzystania przesyłanych informacji. Standard IEEE 1609 opisuje także funkcje administracyjne, niezbędne do obsługi podstawowych funkcji bezpieczeństwa. Ze względu na specyfikę zastosowania rozwiązań C-ITS, które będą wpływały na bezpieczeństwo i efektywność ruchu drogowego, muszą one spełniać specyficzne wymagania. W tabeli 2 przedstawiono zestaw wymagań dla tego typu rozwiązań, a w tabeli 3 zaprezentowano objaśnienia niektórych oznaczeń użytych w tabeli 2.

Tryby transmisji oznaczają:

- unicast — rodzaj transmisji danych, w której dokładnie jeden punkt wysyła pakiety do dokładnie jednego punktu docelowego (występuje tylko jeden nadawca i tylko jeden odbiorca danych),
- geocast — sposób dostarczania danych do grupy urządzeń określonej przez położenie geograficzne,

Tabela 3

Objaśnienia niektórych oznaczeń użytych w tabeli 2

Tryb komunikacji		Kierunkowość		Opóźnienie		Zasięg		Tryb transmisji		Prędkość transmisji	
V2V ^d	Pojazd–Pojazd (bezpośrednio)	1	Jednokierunkowa	Bardzo niskie	Rzędu kilku milisekund	Krótki	< 500 m	1	Unicast	Wysoka	> 6 Mb/s
V2V ⁱ	Pojazd–Pojazd (niebezpośrednio)	2	Dwukierunkowa	Niskie	Rzędu kilku milisekund	Średni	~ 1 km	2	Geocast	Średnia	1–6 Mb/s
V2I	Pojazd–Infrastruktura	1/2	Oba rozwiązania	Średnie	Rzędu kilku sekund	Daleki	> 1 km	3	Broadcast	Niska	< 1 Mb/s

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Dar, Bakhouya, Gaber, Wack, Lorenz, 2010, p. 156–162.

■ broadcast — „rozgłoszeniowy” tryb transmisji danych, w którym jeden port (kanał informacyjny) wysyła pakiety danych, które powinny być odebrane przez wszystkie inne przyłączone do danej sieci (domeny rozgłoszeniowej).

Jak wcześniej wspomniano transmisja danych może być również prowadzona w ramach alternatywnego standardu, jakim jest ETSI ITS-G5. W tabeli 4 znajduje się porównanie standardu WAVE, ze standardem ITS G5.

Zarówno WAVE, jak i ITS-G5 korzysta, w ramach warstwy fizycznej, ze standardu IEEE 802.11p. Różnice występują w ramach wyższych warstw modelu OSI.

Lokalne mapy dynamiczne

W rozwiązaniach z zakresu C-ITS niezbędne są informacje o pojazdach i ich otoczeniu. Zastosowania z zakresu ITS wymagają zarówno informacji o poruszających się obiektach, takich jak pojazdy i piesi w pobliżu, jak też o obiektach stacjonarnych, takich jak znaki drogowe, elementy infrastruktury i mapy

drogowe. Wspólna baza informacji o tych obiektach, wykorzystywana przez poszczególne aplikacje ITS, może być przechowywana w ramach tzw. lokalnej mapy dynamicznej (ang. *Local Dynamic Map* — LDM). Są one standaryzowane w celu umożliwienia zarządzania danymi z czujników pojazdów i danymi statycznymi (związanymi z infrastrukturą drogową i mapami). W procesie gromadzenia i przetwarzania danych wykorzystywane są systemy baz danych. W Europie trwają prace standaryzacyjne prowadzone przez Europejski Komitet Standaryzacyjny — CEN (ang. *European Committee for Standardization*) i Europejski Instytut Standardów Telekomunikacyjnych — ETSI (ang. *European Telecommunications Standards Institute*) — zob. Shimada, Yamaguchi, Takada, Sato, 2015, s. 102–112. Zastosowanie i rozwój Współpracujących Systemów ITS (C-ITS) wymaga zarządzania nie tylko informacjami z czujników pojedynczego pojazdu silnikowego, ale również informacją z czujników innych pojazdów, uzyskaną dzięki rozwiązaniom telekomunikacyjnym. Lokalne mapy dynamiczne łączą funkcje zarządzania, nie tylko danymi dynamicznymi z wielu pojazdów, ale również danymi o ich otoczeniu (rys. 2).

Tabela 4

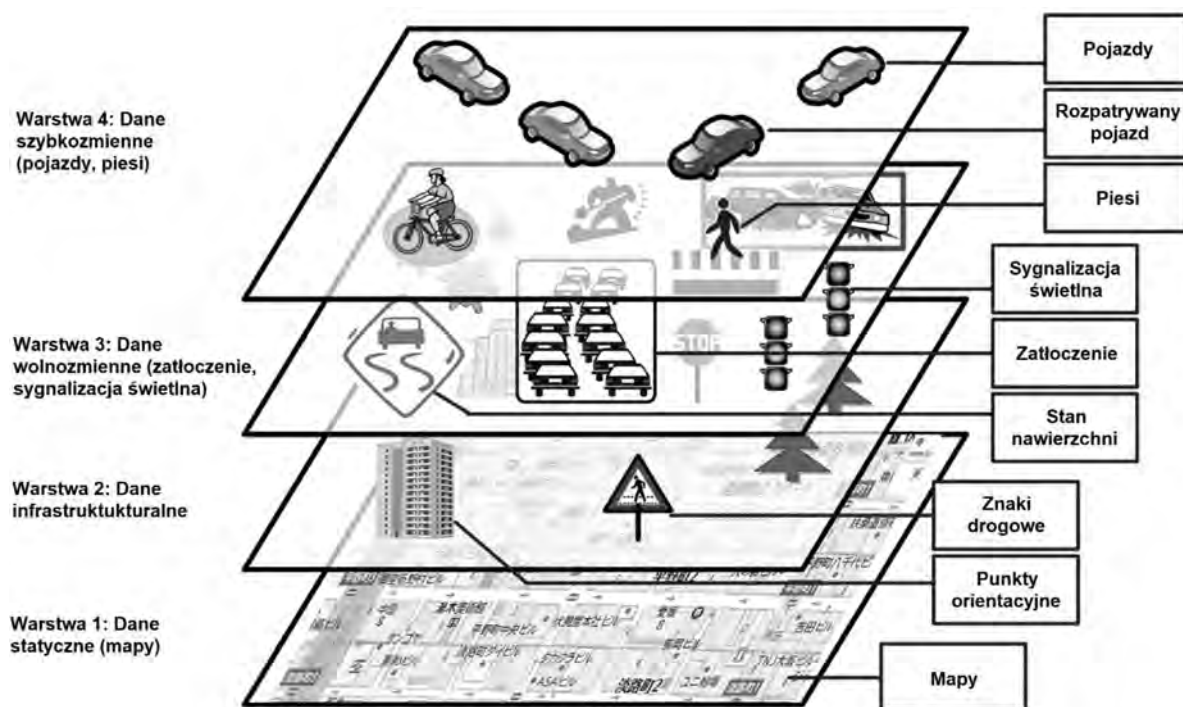
Porównanie standardu WAVE z ITS G5

Warstwa modelu OSI	Standard WAVE	Standard ITS-G5		
Wyższe warstwy	SAE BSM	CAM	DENM	Infrastruktura
Transportowa	IEEE 1609.3	BTP		Łączności transmisja
Sieciowa		GeoNet		
Wymiany danych	LLC IEEE 1609.4 IEEE 802.11p	DCC		Dostęp do danych
Fizyczna	IEEE 802.11p			

Źródło: Abunei, Comsa, Bogdan, 2017.

Rysunek 2

Cztery warstwy logiczne stosowane w ramach lokalnych map dynamicznych



Źródło: Opracowanie własne na podstawie Shimada, Yamaguchi, Takada, Sato, 2015, s. 102–112.

Zastosowany model składa się z czterech warstw. Pierwsza z nich zawiera dane dotyczące infrastruktury drogowej. Druga warstwa zawiera względnie niezmiennie dane, dotyczące infrastruktury drogowej i jej otoczenia. W ramach trzeciej warstwy model uwzględnia wolnozmienne dane związane z zatlóceniem, incydentami i innymi wielkościami określającymi warunki drogowe. Ostatnia, czwarta warstwa, zawiera szybkozmienne dane z czujników pojazdów.

Jednym z istotnych projektów związanych z LDM jest zintegrowany projekt SAFESPOT (zakończony w 2010 r.), w którym zastosowano C-ITS w celu poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego (efekty projektu opisano w pracach Zott, Yuen, Brown, Bartels, Papp, and Netten, 2008; Ibanez-Guzman, Lefevre, Mokkadem, and Rodhaim, 2010, s. 192–197; Schendzielorz, Vreeswijk, and Mathias, 2009; Netten and Wedemeijer, 2010, s. 186–191).

Wpływ C-ITS na BRD opisano natomiast w SAFE-SPOT Integrated Project, 2012. W ramach projektu zdefiniowano obiekty, które mogą wystąpić w ramach każdej z czterech warstw lokalnej mapy dynamicznej. Zostały one pogrupowane w ramach klas, takich jak:

- Staticfeatures (m.in. skrzyżowania, oznakowanie poziome, sygnalizacja świetlna na skrzyżowaniu, węzły, czujniki, sygnalizatory świetlne, czy obszary detekcji);
- Movingobjects (m.in. pojazdy silnikowe, przyczepy);

- Relationships (m.in. podłużne elementy drogowe, trajektorie);
- Konceptualistyczne (m.in. zdarzenia drogowe, zdarzenia związane z otoczeniem, dynamiczne właściwości czujnika, wykrywanie parametrów meteorologicznych, obiekt drogowy, czy stan grupy sygnalizatorów świetlnych), Inne (bramy komunikacyjne i skrzynki pocztowe).

Wsparcie ITS dla wdrażania elektromobilności

W ustawie z 11.01.2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz.U. z 2018 r. poz. 317) określone zostały ramy wdrażania w Polsce pojazdów elektrycznych i sieci ładowania tych pojazdów. Ustawa określa zasady rozwoju i funkcjonowania infrastruktury do dystrybucji paliw alternatywnych w transporcie, obowiązki podmiotów publicznych w zakresie rozwoju infrastruktury paliw, obowiązki informacyjne w zakresie paliw alternatywnych, warunki funkcjonowania stref czystego transportu oraz krajowe ramy polityki rozwoju tej infrastruktury. Dla potrzeb rozwoju infrastruktury stacji ładowania i jej późniejszego wykorzystania i zarządzania utworzona została Ewidencja Infrastruktury Paliw Alternatywnych. W art. 3 ust. 1 pkt 4 ustawy określono wymaga-

nia dla operatorów stacji ładowania. Ustawa zobowiązuje ich do wyposażenia stacji w oprogramowanie do przekazywania danych do wymienionej wyżej ewidencji o dostępności punktu ładowania i cenie za tę usługę.

Zgodnie z ustawą, ewidencję tę prowadzi prezes Urzędu Dozoru Technicznego. Ma ona na celu udostępnienie użytkownikom informacji o stajach ładowania. Ewidencja prowadzona jest przy wykorzystaniu systemu teleinformatycznego. Ustawa określa również zakres i sposób aktualizacji danych. Zawiera ona m.in. współrzędne stacji ładowania, aktualne ceny paliw i dostępność punktów ładowania. W ramach systemu udostępnia się również interaktywną mapę zawierającą zgromadzone dane. Specyfikację usługi sieciowej do przesyłania danych zdefiniowano przy użyciu języka opisu usług sieciowych WSDL.

Rejestr prowadzony przez UDT jest dostępny dla każdego podmiotu, w celu ich dalszego udostępniania i wykorzystania. Informacje te mogą być przekazywane następnie uczestnikom systemu ITS przy użyciu tablic o zmiennej treści, zlokalizowanych w pobliżu drogi lub bezpośrednio do systemów informatycznych pojazdu, za pośrednictwem cyfrowego radia DUB+ lub rozwiązań z zakresu C-ITS (obecnie na etapie testów i próbnych wdrożeń). Dane mogą być również wykorzystane w aplikacjach na telefony komórkowe, używanych przez kierowców. Stanowią one coraz chętniej rozwijany kanał przekazywania i wymiany informacji między systemem ITS a jego użytkownikami. Mogą też funkcjonować niezależnie od tego systemu, jako samodzielne aplikacje. Informacje o lokalizacji punktów ładowania i cenach za energię elektryczną mogą stanowić podstawę do planowania podróży przez kierowcę. W przypadku aplikacji na telefon komórkowy możliwe będzie zaplanowanie trasy przejazdu, z uwzględnieniem dostępności, ceny i preferencji kierowcy. W przyszłości być może będzie udostępniona opcja rezerwacji punktu ładowania. Planowanie podróży mogłoby uwzględniać miejsce początkowe i docelowe podróży, pojemność całkowitą i aktualny stan naładowania akumulatora, a także informacje dodatkowe, takie jak cena za energię w punkcie ładowania i aktualna sytuacja drogowa, od której jest uzależniony czas przejazdu (załotczenie, zdarzenia drogowe, warunki atmosferyczne, stan nawierzchni drogi).

Wnioski

Inteligentne Systemy Transportowe stanowią efektywne rozwiązanie w zakresie zwiększania wykorzystania istniejącej infrastruktury transportowej. W wielu przypadkach, w szczególności w centrach miast, nie ma możliwości rozbudowy sieci dróg, z uwagi na historyczne obiekty i brak wolnej prze-

strzeni. Przy obecnym poziomie wskaźnika motoryzacji (liczba pojazdów w odniesieniu do jednego mieszkańca) nie ma możliwości stworzenia infrastruktury drogowej umożliwiającej swobodne korzystanie z samochodu w każdym obszarze i o każdej porze dnia. W związku z tym poszukiwane są nowe, bardziej złożone metody i algorytmy sterowania ruchem, w szczególności sterowania obszarowego, przy jednoczesnym zastosowaniu nowych koncepcji i wykorzystaniu nowych technologii z zakresu ITS.

Istotnym czynnikiem stymulującym rozwój i innowacyjność jest zwiększenie dostępności szerokopasmowego Internetu, w tym planowane wdrożenie technologii 5G oraz rozwiązań umożliwiających jeszcze szybszą wymianę danych (obecnie są one testowane w warunkach laboratoryjnych). Rozwój techniczny urządzeń i koncepcji zastosowania z zakresu Inteligentnych Systemów Transportowych już obecnie umożliwia wymianę danych między pojazdami „V2V” i pojazdami a infrastrukturą „V2I”, co stanowi podstawę tzw. systemów C-ITS. Pierwszy etap ich wdrożenia, w ramach tzw. usług dnia pierwszego, jest planowany w Unii Europejskiej w bieżącym roku. Rozwiązania C-ITS będą wykorzystywane w pojazdach w celu poprawy bezpieczeństwa i komfortu podróżowania, w tym zapewnienia efektywnego wykorzystania środków transportu. Pojazdy będą przysyłały m.in. informacje o zagrożeniach na drodze, nagłym hamowaniu, priorytetach dla pojazdów transportu zbiorowego, optymalnej prędkości przejazdu (tzw. „zielona fala”), ostrzeżeniach o robotach drogowych, ograniczeniach prędkości, informacjach o ruchu, o wolnych miejscach parkingowych, a także informacje wymagane do obsługi priorytetu przejazdu dla środków komunikacji zbiorowej. Wdrożenie C-ITS może być traktowane jako jeden z kierunków rozwoju dotychczasowych rozwiązań ITS.

Technologia C-ITS będzie wykorzystywana dla pojazdów autonomicznych, które być może zrewolucjonizują transport, chociaż jej zastosowanie nie warunkuje wdrożenia tego typu pojazdów. Przewiduje się, że samochody autonomiczne, spowodują istotne zmiany w funkcjonowaniu transportu, co wpłynie również na systemy ITS. Biorąc pod uwagę, że — jak się ocenia — około 95% zdarzeń drogowych jest spowodowanych błędem człowieka, systemy autonimizujące jazdę mogą znacznie poprawić bezpieczeństwo ruchu drogowego. Obecnie trwają prace nad ich udoskonalaniem i prowadzone są testy w warunkach rzeczywistych. Potencjalna rola rozwiązań z zakresu ITS i C-ITS, polegałaby na dostarczaniu pojazdom autonomicznym dodatkowych danych, które uzupełniałyby informacje z czujników pokładowych. Informacja o wolnych miejscach parkingowych umożliwiłaby zmniejszenie natężenia ruchu w mieście (ocenia się, że kierowcy 30% pojazdów poszukują wolnego miejsca do zaparkowania).

System ITS mógłby przysyłać do pojazdu aktualną informację o zatorach i zdarzeniach drogowych, co umożliwiłoby dynamiczne planowanie trasy przejazdu, w celu ominięcia utrudnień i szybszego dojazdu do miejsca docelowego. Obecnie, w przypadku części pojazdów, odbywa się to w sposób pośredni, przy zastosowaniu aplikacji dla telefonów komórkowych lub systemów nawigacji w pojazdach.

Powyższe obszary stanowią jedynie przykładowe rozwiązania umożliwiające współpracę ITS w połączeniu z pojazdami autonomicznymi. W Polsce trwają obecnie testy takich rozwiązań, prowadzone przez podmioty komercyjne. Szybkie wdrożenie C-ITS przyczyni się do zwiększenia bezpieczeństwa ruchu drogowego i lepszej ochrony użytkowników dróg.

Bibliografia/References

- Abunei, A., Comsa, C., Bogdan, I. (2017). *Implementation of ETSI ITS-G5 based inter-vehicle communication embedded system*, International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS).
- Aramrattana, M., Andersson, A., Reichenberg, F., Mellegard, N., Burden, H. (2019). Testing cooperative intelligent transport systems in distributed simulators, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 65, s. 206–216.
- Aramrattana, M., Larsson, T., Jansson, J., Nabo, A. (2019). A simulation framework for cooperative intelligent transport systems testing and evaluation, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 61, s. 268–280.
- Bechler, M., Kosch, T., Schroth, Ch., Strassberger, M. (2012). *Automotive Internetworking*, John Wiley & Sons, s. 38–40.
- Ibanez-Guzman, J., Lefevre, S., Mokkadem, A. and Rodhaim, S. (2010). Vehicle to Vehicle Communications Applied to Road Intersection Safety, Field Results. 13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Funchal, 19–22.09.2010, s. 192–197. <http://dx.doi.org/10.1109/ITSC.2010.5625246>.
- Intelligent Transport Systems (ITS). Communications Architecture, European Standard — ETSI EN 302 665 V1.1.1 (2010–09).
- Dar, K., Bakhouya, M., Gaber, J., Wack, M., Lorenz P. (2010). Wireless communication technologies for ITS applications [Topics in Automotive Networking], *IEEE Communications Magazine*, 48 (5), p. 156–162.
- Ehlers, U. Ch., Ryeng, E. O., McCormack, E., Khan, F., Ehlers S. (2017). Assessing the safety effects of cooperative intelligent transport systems: A bowtie analysis approach, *Accident Analysis & Prevention*, 99, Part A, s. 125–141.
- Javeda, M. A., Zeadally, S., Hamida, E. B. (2019). Data analytics for Cooperative Intelligent Transport Systems, *Vehicular Communications*, 15, s. 63–72.
- Malasek, J. (2017). C-ITS — skoordynowany transport w inteligentnym mieście, *Transport Miejski i Regionalny*, 8, s. 11–17.
- Netten, B., Wedemeijer, H. (2010). Testing Cooperative Systems with the Mars Simulator, 13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Funchal, 19–22.09.2010, s. 186–191.
- Oskarbski, J., Mowiński, K., Żarski, K. (2017). State of development of intelligent transport systems services on national roads in Poland, *Archives of Transport System Telematics*, 10 (4), s. 21–27.
- Oskarbski, J., Zawisza, M., Żarski, K., Jamroz, K. (2018). Possible directions for development of C-ITS services in cities on the example of the TRISTAR System, *Archives of Transport System Telematics*, 11 (3), s. 35–42.
- SAFESpot Integrated Project (2012), <http://www.safespot-eu.org/>.
- Schendzielorz, T., Vreeswijk, J., Mathias, P. (2009). *Intelligent Cooperative Intersection Safety Implementation*, Test and Evaluation. Proceedings of the 16th ITS World Congress.
- Shimada, H., Yamaguchi, A., Takada, H., Sato, K. (2015). Implementation and Evaluation of Local Dynamic Map in Safety Driving Systems, *Journal of Transportation Technologies*, 5, s. 102–112.
- Sun, L., Li, Y., Gao, J. (2016). Architecture and Application Research of Cooperative Intelligent Transport Systems, *Procedia Engineering*, 137, s. 747–753.
- Zemrane, H., Baddi, Y., Hasbi, A. (2019). Mobile AdHoc networks for Intelligent Transportation System: Comparative Analysis of the Routing protocols, *Procedia Computer Science*, 160, s. 758–765.
- Zott, C., Yuen, S. Y., Brown, C. L., Bartels, C., Papp, Z. and Netten, B. D. (2008). Safespot Local Dynamic Maps — Context-Dependent View Generation of a Platform's State & Environment. Proceedings of the 15th ITS World Congress.

Dr hab. inż. Tomasz Kamiński

Specjalista z zakresu Inteligentnych Systemów Transportowych i innowacyjnych rozwiązań w transporcie drogowym. Doktor habilitowany nauk technicznych. Absolwent studiów MBA w Akademii Leona Koźmińskiego w Warszawie. Członek Polskiego Stowarzyszenia Telematyki Transportu i Polskiego Towarzystwa Naukowego Silników Spalinowych. Członek Założyciel stowarzyszenia EKOMOBILNOŚĆ oraz członek Stowarzyszenia ITS Polska. Kierownik i uczestnik 34 krajowych i międzynarodowych projektów badawczych. Uczestnik Komitetu Technicznego nr 17 Polskiego Komitetu Normalizacyjnego. Autor około 250 publikacji naukowych i publikacji o charakterze popularyzatorskim, a także współautor monografii i podręczników z dziedziny transportu. Pasjonat modelarstwa lotniczego.

Dr hab. inż. Tomasz Kamiński

A specialist in the field of Intelligent Transport Systems and innovative solutions in road transport. Habilitated doctor of technical sciences. A graduate of MBA studies at the Kozminski University in Warsaw. Member of the Polish Association of Transport Telematics and the Polish Engine for Combustion Engines. Founder member of the EKOMOBILNOŚĆ association and member of the ITS Polska Association. Manager and participant of 34 national and international research projects. Participant of Technical Committee No. 17 of the Polish Committee for Standardization. Author of about 250 scientific and popularizing publications, as well as co-author of monographs and textbooks in the field of transport. A passionate of RC models.