

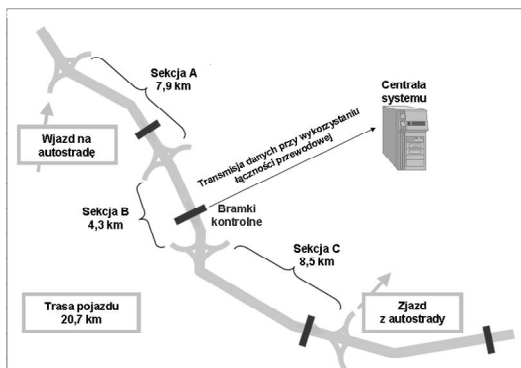
prof. nadzw. dr hab. inż. Gabriel Nowacki  
mgr Anna Niedzicka

Centrum Zarządzania i Telematyki Transportu  
Instytut Transportu Samochodowego

## Projekt pilotażowy ITS – Krajowy system automatycznego poboru opłat (KSAPO)

### WPROWADZENIE

W większości państw Unii Europejskiej (Austria, Francja, Hiszpania, Portugalia, Włochy) wykorzystywane są systemy elektronicznego pobierania opłat drogowych typu DSRC<sup>1</sup>, które funkcjonują w oparciu o wydzieloną łączność radiową krótkiego zasięgu (pasmo mikrofalowe – 5,8 GHz).



**Rysunek 1. Struktura systemu elektronicznego pobierania opłat typu DSRC**

Źródło: opracowanie własne na podst. K. Černý, *Electronic toll collection in the Czech Republic*. International Conference, Sofia (Bułgaria), 17.09.2008.

Urządzenie pokładowe OBU pracujące w systemie DSRC jest małej wielkości (paczki papierosów), mocowane jest na szybie wewnątrz pojazdu. Jednak

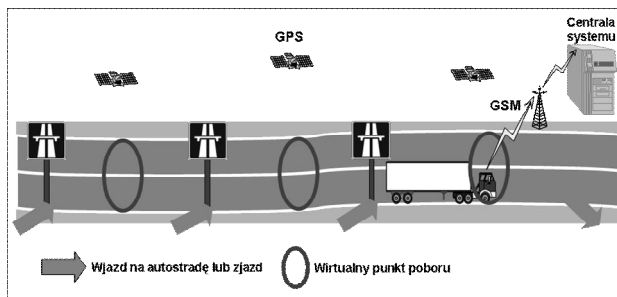
<sup>1</sup> DSRC (Dedicated Short Range Communication) – wydzielona łączność krótkiego zasięgu, przeznaczona dla przemysłu motoryzacyjnego i odpowiadająca określonym standardom. EN 12253. DSRC – warstwa fizyczna za pomocą mikrofal 5.8 GHz. EN 12795 – warstwa łącza danych. EN 12834. – warstwa aplikacji. EN 13372 – profile aplikacji. EN ISO 14906 – elektroniczny system pobierania opłat – interfejs aplikacji. Obecnie główne zastosowanie DSRC odnosi się do systemów elektronicznego pobierania opłat drogowych, głównie w Europie, Japonii i Stanach Zjednoczonych.

urządzenie to jest mało „inteligentne”, bardzo proste i wykonuje jedynie funkcje potwierdzania (read only), nie posiada wyświetlacza, nie odbiera danych. W systemie DSRC wymagana jest rozbudowa infrastruktury drogowej, na każdym skrzyżowaniu, przy wjazdach na odcinki dróg płatnych lub zjazdach muszą być zamontowane bramki (rysunek 1).

W systemie DSRC występują dwa rodzaje bramek: do łączności (Toll Gate) oraz kontrolne, dlatego ich liczba jest dziesięciokrotnie większa niż w systemie GPS/GSM.

Ponadto transmisja danych odbywa się przy wykorzystaniu łączności przewodowej, a następnie może odbywać się przez Internet. System DSRC nie będzie mógł być włączony do zintegrowanej platformy technologicznej, gdyż nie będzie on mógł w ogóle współpracować z innymi krajowymi systemami transportowymi<sup>2</sup>. Nawet w przypadku systemu DSRC, gdzie dostawcą jest firma Kapsch, każde państwo posiada inny typ urządzenia pokładowego OBU.

Innym rozwiązaniem są systemy wykorzystujące technologię telefonii komórkowej GSM oraz pozycjonowania satelitarnego GPS (rysunek 2).



**Rysunek 2. System typu GPS/GSM**

Źródło: opracowanie własne.

W systemie tym, dzięki pozycjonowaniu satelitarnemu GPS organizowane są wirtualne punkty kontroli i poboru opłat, system może działać bez wykorzystania bram kontrolnych. Dane do centrali systemu przekazywane są bezpośrednio z OBU, przy wykorzystaniu łączności GSM.

Zdaniem Komisji Europejskiej systemy elektronicznego pobierania opłat drogowych, stosowane w państwach Unii Europejskiej, nie są interoperacyjne z następujących powodów: różnic w koncepcjach pobierania opłat drogowych, standardów technologicznych, klasyfikacji stawek opłat, niezgodności w zakresie interpretacji przepisów prawnych (rysunek 3).

Komisja Europejska podjęła dwa milowe kroki w tym zakresie. Pierwszym była dyrektywa 2004/52/EC z dnia 29 kwietnia 2004 r. w sprawie interoperacyj-

<sup>2</sup> Taka sytuacja jest w tej chwili w Polsce, gdyż systemy sterowania ruchem drogowym w poszczególnych miastach nie mogą ze sobą współpracować.

ności systemów elektronicznych opłat drogowych we Wspólnocie [2]. Drugim decyzją KE z dnia 6 października 2009 roku, w sprawie definicji europejskiej usługi opłaty elektronicznej (EETS) oraz architektury systemu [3].



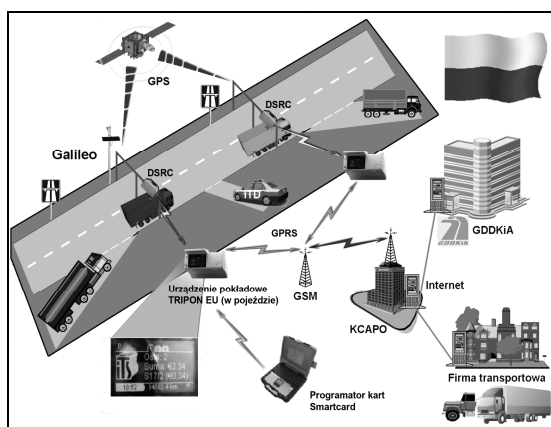
**Rysunek 3. Urządzenia pokładowe OBU aktualnie stosowane w pojeździe**

Źródło: zob. A. Kossak, *Implemented and Envisaged Road Toll Policies in the Central-Eastern-European Countries*, Seminarium – PIARC TC A.3. Budapeszt, 6–7 maja 2009.

Europejska usługa opłaty elektronicznej ma być dostępna do końca 2012 roku dla wszystkich pojazdów o masie powyżej 3,5 tony lub pojazdów przewożących ponad 9 osób łącznie z kierowcą. Usługa ta będzie dostępna dla pozostałych pojazdów do końca 2014 roku.

## STRUKTURA FUNKCJONALNA KSAPO

Zespół badawczy określił strukturę funkcjonalną (KSAPO) – rysunek 4.



**Rysunek 4. Architektura Krajowego Systemu Automatemycznego Poboru Opłat**

Źródło: opracowanie własne.

W skład struktury systemu wchodzi następujące elementy:

- „inteligentne” urządzenie pokładowe o nazwie TRIPON – EU, które zostało zainstalowane w dwóch pojazdach testowych,
- system instalowania OBU z użyciem karty chipowej,
- dwie bramki kontrolne (z modemem DSRC i systemem wizyjnym pobierania opłat drogowych),
- laboratoryjny model krajowej centrali automatycznego poboru opłat KCAPO,
- serwer proxy do wymiany danych między centralą system a OBU poprzez GPRS,
- centrum sterowania OBU pozwalające na zarządzanie OBU i wykonywanie analiz danych dotyczących poboru opłat,
- narzędzia analityczne dla DSRC, analizy obrazów i klasyfikacji pojazdów.

Architektura systemu jest zgodna z Dyrektywą 2004/52/EC oraz decyzją KE z dnia 6 października 2009 roku, standardami CE oraz ISO.

#### TESTY PROJEKTU PILOTAŻOWEGO

Testy działania KSAPO (rysunek 5) przeprowadził zespół badawczy w składzie: Instytut Transportu Samochodowego (Gabriel Nowacki, Anna Niedzicka, Ewa Smoczyńska), FELA Management AG (Thomas Kallweit), Autoguard SA (Krzysztof Pusłowski). Testy na drogach prowadzone były w lipcu i sierpniu, natomiast rejestrację przejeżdżających pojazdów przez bramki kontrolne prowadzono od 1 lipca do 30 listopada 2010 r.

Do celów testowych do bazy danych dodano cztery pojazdy: Volkswagen Golf – pojazd badawczy Autoguard, nr rej. WF 93311, Fiat Ducato, pojazd Autoguard SA, nr rej. WF 4244E, waga całkowita 1968 kg, liczba osi – 2, Volkswagen Crafter, pojazd Autoguard SA, nr rej. WF 1831E, waga całkowita 3508 kg, liczba osi – 2, Volkswagen Transporter, pojazd badawczy ITS, nr rej. WH 15904, w systemie zadeklarowano następujące dane: dopuszczalna masa całkowita 12 500 kg, liczb osi – 2.

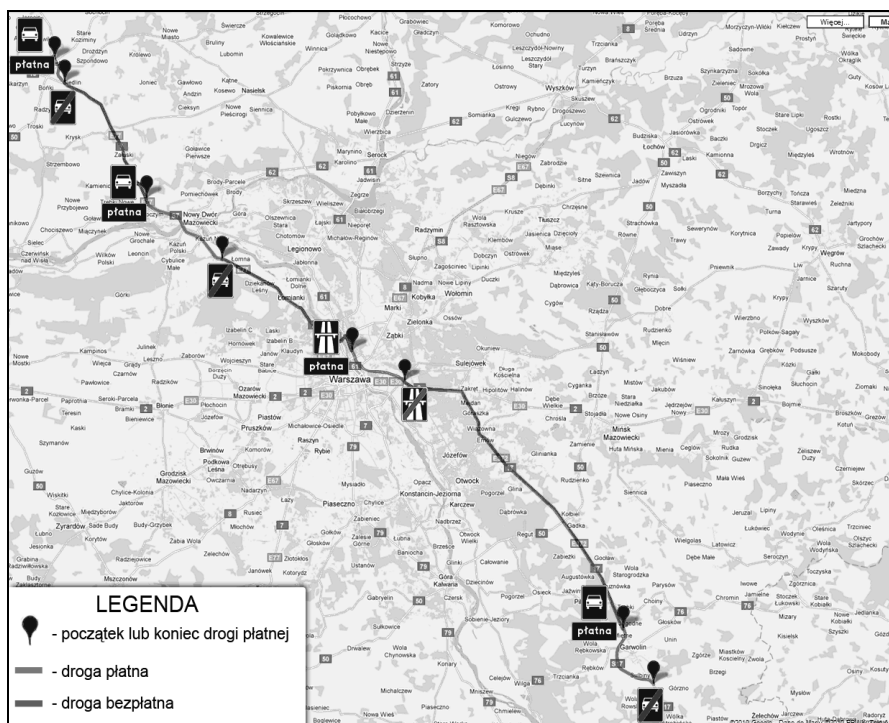
Z kilku zaproponowanych wariantów tras testowych wybrano trasę Płońsk – Garwolin, Garwolin – Płońsk, jako najbardziej zróżnicowaną, tj. pozwalającą na sprawdzenie największej liczby elementów systemu, zawierającą w bezpośrednim sąsiedztwie bramy kontrolne oraz pozwalającą na wykorzystanie aż trzech rzeczywistych fragmentów dróg ekspresowych (rysunek 6).

Trasa testowa obejmowała:

- dwa fragmenty drogi ekspresowej S7 (wschodnia obwodnica Płońska, zachodnia obwodnica Nowego Dworu Mazowieckiego),
- jeden fragment drogi ekspresowej S17 (obwodnica Garwolina),
- fragmenty drogi krajowej 61 i 637.



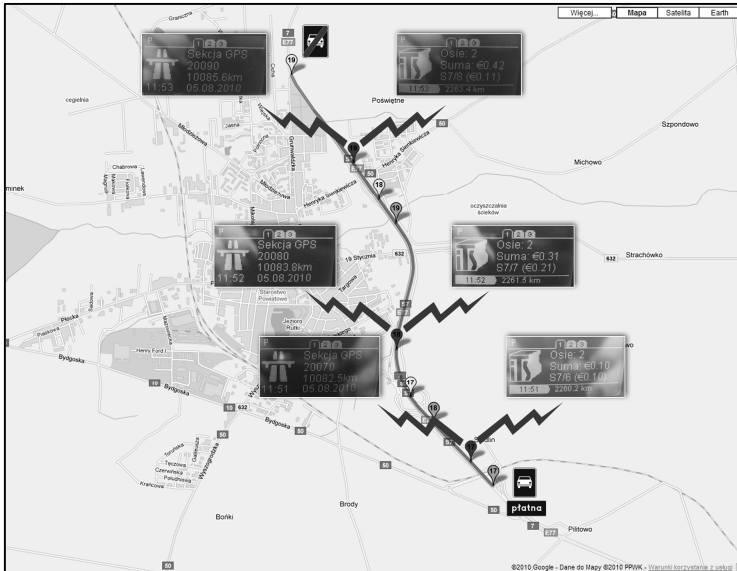
Rysunek 5. Zespół badawczy i elementy systemu



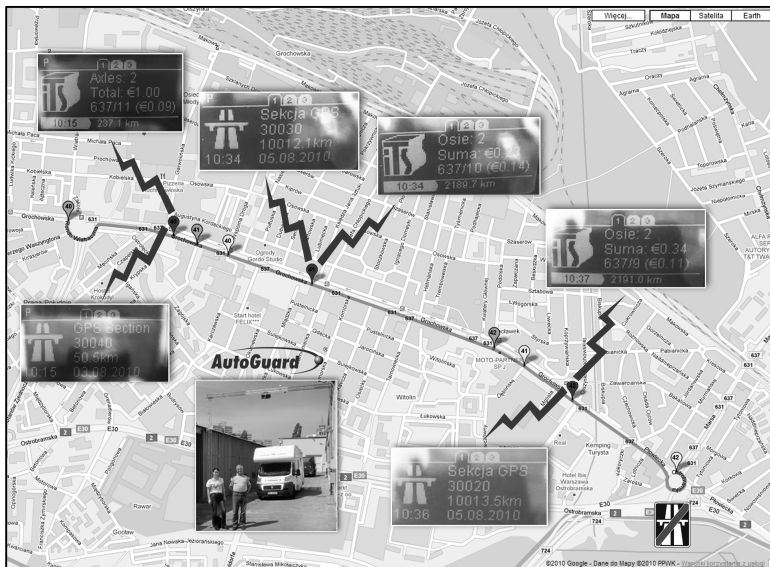
Rysunek 6. Trasa testowa Płońsk – Garwolin, Garwolin – Płońsk<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Rysunki: 6, 7 oraz 8 zostały opracowane przez: A. Niedzicka, E. Smoczyńska, ITS, 2010, na podstawie <http://maps.google.pl>

Wybrane segmenty systemu przedstawiono na rysunku 7 i 8.



**Rysunek 7. Segment – obwodnica Płońska, kierunek północny (rzeczywisty fragment drogi ekspresowej S7)**



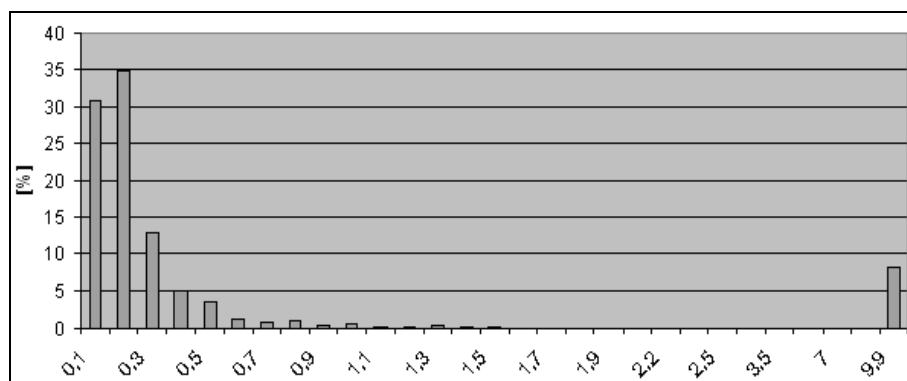
**Rysunek 8. Segment – Warszawa, kierunek południowy (droga nr 637, sklasyfikowana wirtualnie jako autostrada płatna), brama kontroli na terenie firmy AutoGuard**

Na podstawie zarejestrowanych danych, przesyłanych przez pojazd w postaci komunikatów, możliwe było dokładne odtworzenie trasy przejazdu pojazdu z urządzeniem OBU.

Jednym z istotniejszych parametrów określającym dokładność pomiaru i przesyłanym w komunikatach lokalizacyjnych jest PDOP (*Position Dilution of Precision*) – defekt precyzji wyznaczenia pozycji. PDOP to współczynnik opisujący stosunek między błędem pozycji użytkownika a błędem pozycji satelity.

Wartość któregoś z parametrów równa 0 oznacza, że w danej chwili pomiar pozycji jest niemożliwy ze względu na zakłócenia, słaby sygnał z satelitów, zbyt małą liczbę widocznych satelitów itp. Im mniejsza jest wartość tego parametru (ale większa od zera) tym pomiar jest dokładniejszy. Przyjmuje się następujące umowne opisy jakości sygnału w zależności od wartości PDOP: 1 (idealny), 2–3 (znakomity), 4–6 (dobry), 7–8 (umiarkowany), 9–20 (słaby), > 20 (zły).

Na rysunku 9 przedstawiono rozkład parametru PDOP uzyskanego w testach. Na osi poziomej (X) znajdują się wartości parametru PDOP. Na osi pionowej (Y) jest liczba pomiarów (w procentach), podczas których uzyskano daną wartości PDOP. Statystyki zostały wykonane dla 4627 pomiarów pozycji.

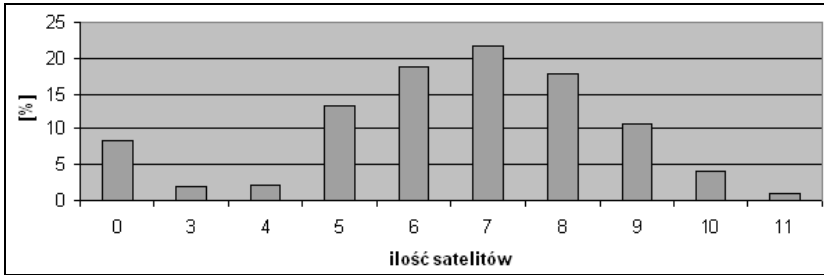


**Rysunek 9. Rozkład PDOP dla wszystkich OBU**

Źródło: opracowanie własne.

Analiza danych pomiarowych parametru PDOP i liczby satelitów używanych podczas pomiaru wykazała, że dla ponad 90% pomiarów PDOP było idealne (niższe niż 1), a dla 8% – znakomite (mniejsze niż 3).

Liczbę satelitów wykorzystywanych do pomiarów przez wszystkie OBU przedstawiono na rysunku 10. Na potrzeby systemu KSAPO przyjęto, że odbiornik GPS w OBU powinien śledzić co najmniej 5 satelitów, dla większej dokładności obliczeń i na wypadek utraty sygnału od jednego z nich.



**Rysunek 10. Liczba satelitów GPS wykorzystanych do pomiaru lokalizacji**

Źródło: opracowanie własne.

Z przedstawionych danych wynika, że maksymalna liczba satelitów używanych podczas lokalizacji wyniosła 11, a dla 99% pomiarów wykorzystywano minimum 5 satelitów.

Od 1 lipca do 30 listopada 2010 roku w bazie danych systemu zostało zarejestrowanych 2964 pojazdy, które przejechały przez bramki kontrolne. Nie wszystkie pojazdy były wyposażone w OBU.

Podczas testów na bramce ITS Demo oraz Autoguard Demo przy wykorzystaniu systemu DSRC zidentyfikowano 24-krotny przejazd pojazdów testowych. Podczas testów na bramce ITS Demo wykonano 667 fotografii przejeżdżających pojazdów (rysunek 11).



**Rysunek 11. Zdjęcie pojazdu badawczego ITS, nr rejestracyjny WH 15904, wykonane 15.07.2010, godz. 07.22:26, dokładność – 0.960**

Legenda:

Data (ANPR): 15.07.2010, 07:22:25; Nr rej. (ANPR): WH 15904; ID bramki: 2; Nazwa bramki: ITS Demo; Data (DSRC): 15.07.2010, godz. 07:22:26; Kod kraju: CH; Nr rej. (DSRC): WH 15904; Dane kontekstowe: WH 15904; OBU ID: 340825; Pojazd ID: 123456; Klasa emisji: 1; Kategoria pojazdu (wymiary): 1; Waga pojazdu: 12 500 kg; Waga całkowita: 12 500 kg; Liczba osi: 2; Środek płatności – 340825.

Podczas testów na bramce Autoguard Demo wykonano 2297 fotografii przejeżdżających pojazdów. Przykładowe zdjęcie pojazdu przedstawiono na rysunku 12.

Zarejestrowany pojazd posiadał francuskie urządzenie OBU – Passango (DSRC) oraz niemieckie Toll Collect (GPS/GSM), został całkowicie zidentyfikowany w systemie, jako użytkownik, co oznacza, że system KSAPO jest interoperacyjny, może współpracować zarówno z systemami typu DSRC, jak i GPS/GSM.

Wszystkie segmenty zostały właściwie rozpoznane przez urządzenia pokładowe, nie odnotowano żadnych problemów w tym zakresie. Każdy segment składał się z trzech punktów, aby dany odcinek został zaliczony, wszystkie trzy segmenty musiały zostać wykryte przez OBU. Taka sytuacja powodując, że kierowcy, którzy będą przecinać drogi płatne lub korzystać tylko z przejazdów, nie zostaną zarejestrowani w systemie.

Testy zakończyły się sukcesem i potwierdziły skuteczność wybranych rozwiązań zgodnie z założonymi celami projektu.



**Rysunek 12. Zdjęcie pojazdu nr rej. WWY 07512, wykonane 28.09.2010, godz. 09.25:53, dokładność – 0.980**

Legenda:

Data (ANPR): 28.09.2010 09:25:53; Nr rej. (ANPR): WWY 07512; Dokładność: 0.980; ID bramki: 3; Nazwa bramki: Autoguard Demo; Data (DSRC): 28.09.2010 09:25:54; Kod kraju: F (Francja), D (Niemcy); Nr rej (DSRC): WWY 07512; Dane kontekstowe: WWY 07512; ID OB:1103467888; ID pojazdu: 2147483647; Klasa emisji: 1; Kategoria pojazdu: 1; Waga pojazdu: 18000; Waga całkowita: 40000; Liczba osi: 5; Środek płatności: 2147483647.

## WNIOSKI

Przeprowadzone badania potwierdzają jednoznacznie, że w istniejących uwarunkowaniach (rozwój nowych technologii, dyrektywa ITS 2010/40 oraz na mocy decyzji KE z dnia 6 października 2009 roku) system opłat drogowych wykorzystujący pozycjonowanie satelitarne GPS oraz łączność GSM będzie przyszło-

ściowym rozwiązaniem dla każdego państwa członkowskiego UE, szczególnie w aspekcie interoperacyjności oraz elastyczności, kiedy systemy opłat drogowych mogą być stosowane dla większej liczby kategorii dróg (nawet wszystkich dróg) oraz każdej kategorii pojazdów.

Testy projektu KSAPO zakończyły się pełnym sukcesem. System wykorzystuje technologie GPS/GSM, ale rozpoznaje także urządzenia OBU typu DSRC. W trakcie testów system rozpoznał francuskie urządzenie pokładowe Passango typu DSRC oraz niemieckie Toll Collect typu GPS/GSM, zamontowane w pojeździe, który nie brał udziału w teście, ale przypadkowo przejechał bramkę kontrolną. Tym samym oznacza to, że system KSAPO jest interoperacyjny i może współpracować zarówno z systemami typu GPS/GSM, a także z istniejącymi systemami typu DSRC w innych państwach członkowskich UE.

\*\*\*

Artykuł został opracowany w ramach projektu rozwojowego – KSAPO N R10 0001 04.

#### LITERATURA

- Černý K, *Electronic toll collection in the Czech Republic*. International Conference, Sofia (Bulgaria), 17.09.2008.
- Decyzja Komisji z dnia 6 października 2009 r. w sprawie definicji europejskiej usługi opłaty elektronicznej oraz jej elementów technicznych. Dz.U. UE. L.09.268.11.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2004/52/WE z dnia 29 kwietnia 2004 r. w sprawie interoperacyjności systemów elektronicznych opłat drogowych we Wspólnocie. Dz. Urz. UE, L 166, 30.04.2004.
- Kossak A., *Implemented and Envisaged Road Toll Policies in the Central-Eastern-European Countries*. Seminarium – PIARC TC A.3. Budapeszt, 6–7 maja 2009.

#### Streszczenie

W artykule przedstawiono testy projektu pilotażowego – struktura funkcjonalna Krajowego Systemu Automatycznego Poboru Opłat (KSAPO). Podczas testów sprawdzono działanie OBU, które automatycznie nalicza opłatę (myto), biorąc pod uwagę kategorię pojazdu (dmc, liczbę osi), klasę emisji spalin oraz przejechany odcinek drogi. OBU jest wyposażone w moduł GPS, GSM oraz wydzielonej łączności krótkiego zasięgu (DSRC), co zapewnia mu interoperacyjność z innymi europejskimi elektronicznymi systemami poboru opłat (EETS) w państwach członkowskich UE. System spełnia wymagania dyrektywy 2004/52/EC oraz decyzji KE.

Testy potwierdziły wysoką skuteczność systemu w zakresie rozpoznawania tablic rejestracyjnych pojazdów, wynoszącą 99,9%. Analiza danych pomiarowych parametru PDOP i liczby satelitów używanych podczas pomiaru wykazała, że dla ponad 90% pomiarów PDOP było niższe niż 1,8% posiadało wartość od 1 do 3. Na podstawie testów stwierdzono, że maksymalna liczba satelitów używanych podczas lokalizacji wyniosła 11, a minimalna 5 (99%).

**Pilot Project of MTI – National Automatic Toll Collection System (NATCS)***Summary*

This article presents test results of the pilot project – The functional structure of the National Automated Toll Collection System (NATCS). During the tests OBU automatically charged a fee (toll), taking into account the category of vehicle (admissible mass, the number of axes), the category of emissions, and distance of road travelled. OBU is equipped with GPS, GSM and Dedicated Short Range Communication (DSRC) modules, which ensure its interoperability with other European Electronic Tolling Systems (EETS) systems in the EU Member States. The system meets the requirements of 2004/52/EC Directive and the EC Decision from the 6-th of October 2009.

Tests proved high effectiveness of automatic number plate recognition, being 99,9%. The analyses of PDOP (Position Dilution of Precision) parameters showed that 90% had the value below 1, and 8% value from 1 to 3. Based on tests, the maximum number of satellites for localization was – 11 and minimum – 5, that create value 99%.