

Gabriel NOWACKI¹
Tomasz KAMIŃSKI¹
Małgorzata WALENDZIK¹

WYNIKI TESTÓW PROJEKTU PILOTAŻOWEGO KSAPO

W referacie przedstawiono wybrane problemy dotyczące implementacji europejskiej usługi opłaty elektronicznej EETS w Polsce. Instytut Transportu Samochodowego prowadził testy projektu pilotażowego - struktura funkcjonalna Krajowego Systemu Automatycznego Poboru Opłat (KSAPO). W skład systemu wchodzi następujące elementy: dwa inteligentne urządzenia pokładowe OBU, dwie bramki kontrolne, laboratoryjny model krajowej centrali automatycznego poboru opłat KCAPO. OBU 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 DSRC, co zapewnia mu interoperacyjność z innymi systemami EETS w państwach członkowskich UE. System spełnia wymagania dyrektywy 2004/52/EC oraz decyzji KE.

TEST RESULTS OF NATCS PILOT PROJECT

The paper presents selected issues concerning the implementation of European Electronic Tolling Service EETS in Poland. The Motor Transport Institute conducted tests of the pilot project - the functional structure of the National Automatic Toll Collection System (NATCS). The system includes the following elements: two on-board intelligent devices OBU, two control gates, laboratory model of a National Centre for Automatic Toll Collection (NATCS). OBU automatically charges 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 DSRC modules, which ensures its interoperability with other EETS systems in EU Member States. The system meets the requirements of Directive 2004/52/EC and the EC Decision.

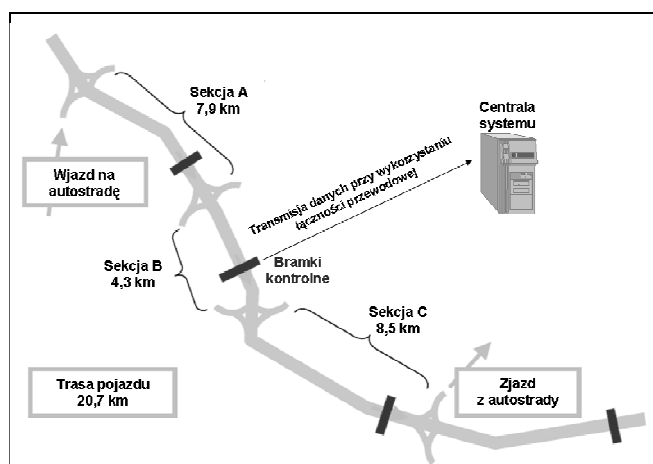
1. WSTĘP

W większości państw Unii Europejskiej (Austria, Francja, Hiszpania, Portugalia, Włochy) wykorzystywane są systemy elektronicznego pobierania opłat drogowych typu

¹ Instytut Transportu Samochodowego/Centrum Zarządzania i Telematyki Transportu, ul. Jagiellońska 80, 03-401 Warszawa, gabriel.nowacki@its.waw.pl; małgorzata.walendzik@its.waw.pl

DSRC², które funkcjonują w oparciu o wydzieloną łączność radiową krótkiego zasięgu (pasmo mikrofalowe - 5,8 GHz).

Urządzenie pokładowe OBU, pracujące w systemie DSRC jest małej wielkości (paczki papierosów), mocowane jest na szybie wewnątrz pojazdu. Jednak urządzenie to jest mało „inteligentne”, bardzo proste i wykonuje jedynie funkcje potwierdzania (read only), nie posiada wyświetlacza, nie może odbierać ani przekazywać żadnych wiadomości. W systemie DSRC wymagana jest rozbudowa infrastruktury drogowej, na każdym skrzyżowaniu, przy wjazdach na odcinki dróg płatnych lub zjazdach muszą być zamontowane bramki (rys. 1).



Rys. 1. Struktura systemu elektronicznego pobierania opłat typu DSRC [1]

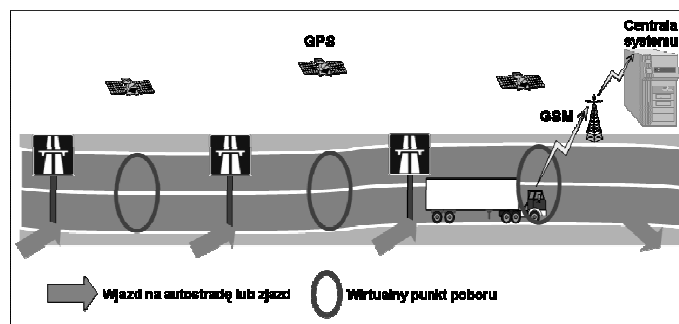
W systemie DSRC występują dwa rodzaje bramek: do łączności (Toll Gate) oraz kontrolne, dlatego ich liczba jest dziesięciokrotnie większa niż w systemie GPS/GSM.

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 transportowymi³. 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 satelitarne GPS (rys. 2).

² 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.

³ Taka sytuacja jest w tej chwili w Polsce, systemy sterowania ruchem drogowym w poszczególnych miastach nie mogą ze sobą współpracować.



Rys. 2. System typu GPS/GSM

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 (rys. 3).



Rys. 3. Urządzenia pokładowe OBU aktualnie stosowane w pojeździe [4]

Komisja Europejska podjęła dwa milowe kroki w tym zakresie. Pierwszym była dyrektywa 2004/52/EC z dnia 29 kwietnia 2004 r. w sprawie interoperacyjności systemów elektronicznych opłat drogowych we Wspólnocie [2]. Drugim decyzja KE z dnia 6 października 2009 roku, w sprawie definicji europejskiej usługi opłaty elektronicznej (EETS) oraz architektury systemu [3].

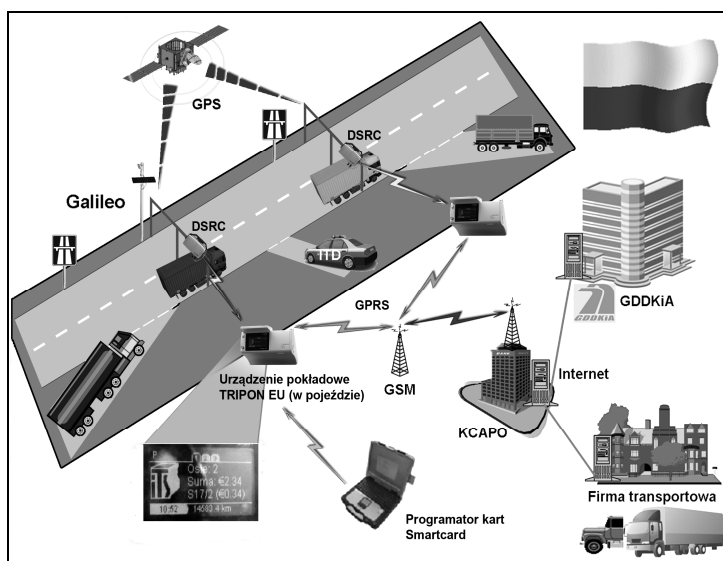
Europejska usługa opłaty elektronicznej ma być dostępna za trzy lata (2012) dla wszystkich pojazdów o masie powyżej 3,5 tony lub pojazdów przewożących ponad 9 osób łącznie z kierowcą. Usługa ta będzie dostępna dla pozostałych pojazdów za pięć lat (2014).

2. STRUKTURA FUNKCJONALNA KSAPO

Zespół badawczy określił strukturę funkcjonalną KSAPO (rys. 4), w skład której 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.



Rys. 4. Architektura Krajowego Systemu Automatycznego Poboru Opłat

3. TESTY PROJEKTU PILOTAŻOWEGO

Testy działania KSAPO (rys. 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 1 968 kg, liczba osi –2, Volkswagen Crafter, pojazd Autoguard SA, nr rej. WF 1831E, waga całkowita 3 508 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.

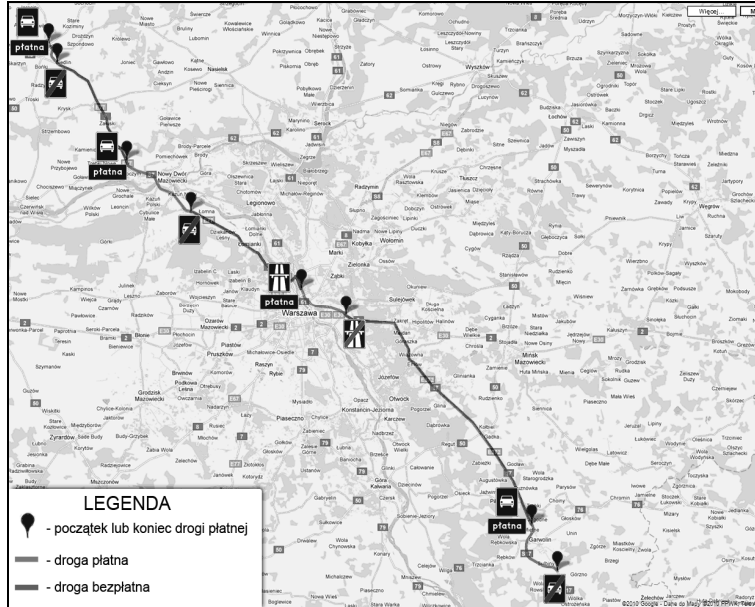


Rys. 5. Zespół badawczy i elementy systemu

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 (rys. 6).

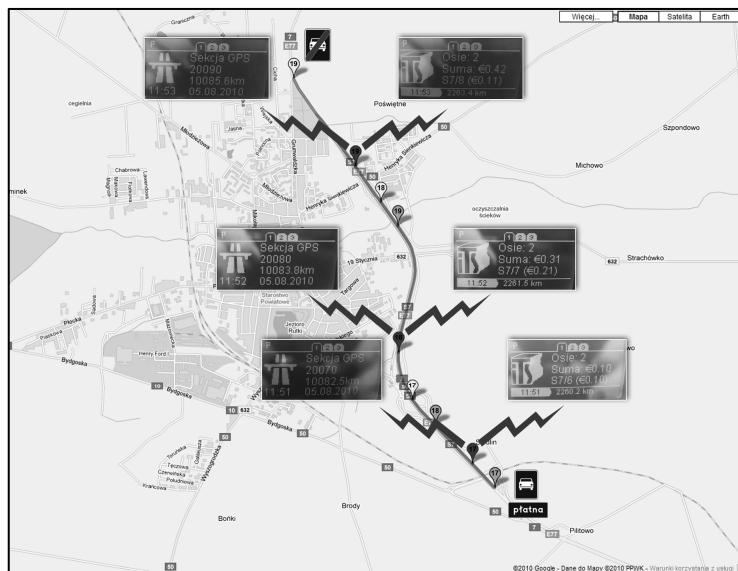
Trasa testowa obejmowała:

- dwa fragmenty drogi ekspresowej S7 (wschodnia obwodnica Płońska (odcinek 4,7 km, oddany do użytku 3 czerwca 2009 roku, zachodnia obwodnica Nowego dworu mazowieckiego (odcinek 14,6 km, Zakroczym – Ostrzykowitzna – Czosnów),
- jeden fragment drogi ekspresowej S17 (obwodnica Garwolina o długości 12,8 km z dwoma jezdniami (każda z dwoma pasami i 2,5-metrowym pasem awaryjnym oraz 4-metrowym pasem rozdzielającym, otwarta 26 września 2007 roku),
- fragmenty drogi krajowej 61 i 637.

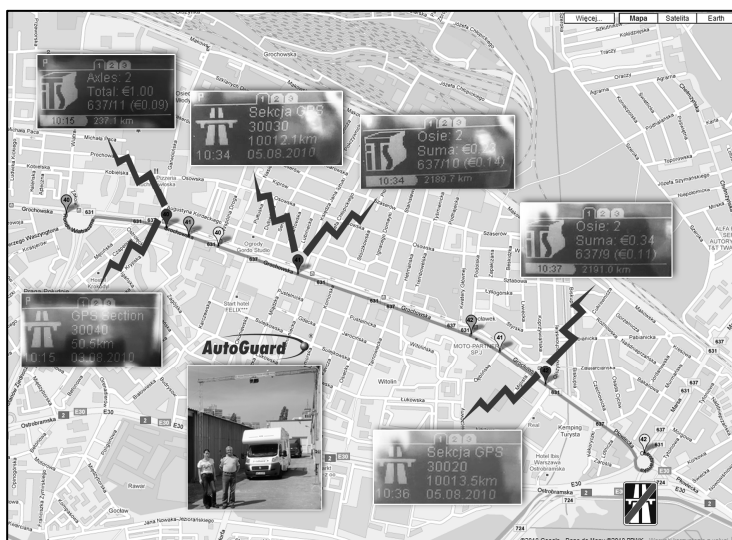


Rys. 6. Trasa testowa Płock – Garwolin, Garwolin - Płock

Wybrane segmenty systemu przedstawiono na rysunku 7 i 8.



Rys. 7. Segment – obwodnica Płocka, kierunku północny (rzeczywisty fragment drogi ekspresowej S7)



Rys.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.

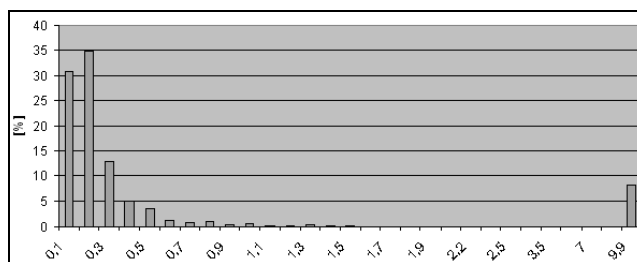
Wartość któregoś z parametrów równa 0 oznacza, że w danej chwili pomiar pozycji jest niemożliwy ze względu na zakłócenia, słaby sygnał z satelitów, zbyt małą liczbę widocznych satelitów itp. Im mniejsza jest wartość tego parametru (ale większa od zera) tym pomiar jest dokładniejszy. Przyjmuje się następujące 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).

Poniższe wykresy przedstawiają rozkład parametru PDOP uzyskanego w testach. Na osi poziomej (X) znajdują się wartości parametru PDOP. Na osi pionowej (Y) jest ilość pomiarów (w procentach) podczas których uzyskano daną wartość PDOP. Statystyki zostały wykonane dla 4627 pomiarów pozycji.

Z przedstawionych wykresów wynika, że średnia dla wszystkich OBU wyniosła 90,4% wartości idealnych i 91,5% idealnych lub znakomitych. Liczba wyników (384) w kategorii słabej dokładnie odpowiada liczbie wyników przy braku widocznych satelitów.

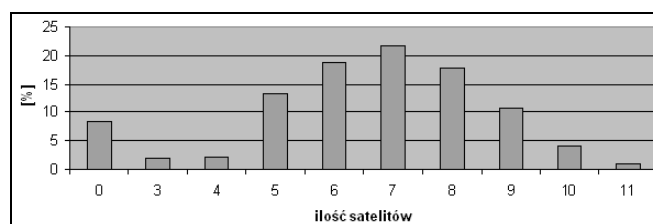
Jak już stwierdzono wcześniej, wartości parametru PDOP są umownie opisywane w zależności od wartości, i tak: wartości większe od 0 i mniejsze od 1,0 są uważane za idealne, natomiast od 2,0 do 3,0 znakomite, a powyżej 9,0 słabe.

Analiza danych pomiarowych parametru PDOP i ilości satelitów używanych podczas pomiaru wykazała, że dla ponad 90% pomiarów PDOP było niższe niż 1, co powinno dawać dokładność lokalizacji z błędem nie większym niż 6 metrów. Dla 8% pomiarów parametr PDOP był większy niż 3, ale miało to miejsce przy załączaniu OBU i było związane z synchronizowaniem się odbiornika GPS.



Rys. 9. Rozkład PDOP dla wszystkich OBU

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.



Rys. 10. Liczba satelitów GPS wykorzystanych do pomiaru lokalizacji

Z przedstawionych danych wynika, że maksymalna liczba satelitów używanych podczas lokalizacji wyniosła 11, a dla 90% pomiarów wykorzystywano minimum 5 satelitów.

W ramach projektu przygotowano dwie bramki DSRC z systemem wizyjnym pobierania opłat. Umożliwiło to m.in. testowanie następujących funkcji: działanie mikrofalowych urządzeń DSRC, działanie systemu wizyjnego ANPR (automatyczne rozpoznawanie tablic rejestracyjnych).

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 (rys. 11).



Rys. 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.



Rys. 14. Zdjęcie pojazdu nr rej. WWY 07512, wykonane 28.09.2010, g. 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.

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 rozpoznane właściwie 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 powoduje, 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.

4. WNIOSKI

Przeprowadzone badania potwierdzają jednoznacznie, że w istniejących uwarunkowaniach (rozwój nowych technologii, dyrektywa ITS 2010/40 oraz decyzją KE z dnia 6 października 2009 roku), system opłat drogowych, wykorzystujący pozycjonowanie satelitarne GPS oraz łączność GSM, będzie najlepszym, przyszłościowym rozwiązaniem dla każdego państwa członkowskiego UE, szczególnie w aspekcie interoperacyjności oraz elastyczności, kiedy systemy opłat drogowych mogą być stosowane dla większej ilości 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, może współpracować zarówno z systemami typu GPS/GSM ale także z istniejącymi systemami typu DSRC w innych państwach członkowskich UE.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1]. Černý K, *Electronic toll collection in the Czech Republic*. International Conference, Sofia (Bułgaria), 17.9.2008.
- [2]. 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.
- [3]. 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.
- [4]. Kossak A., *Implemented and Envisaged Road Toll Policies in the Central-Eastern-European Countries*. Seminarium - PIARC TC A.3. Budapeszt, 6-7 maja, 2009.