

*Europejska usługa opłaty elektronicznej (EETS), Krajowy,
System Automatycznego Poboru Opłat (KSAPO)*

NOWACKI Gabriel¹
KAMIŃSKI Tomasz¹
KRUSZEWSKI Mikołaj¹
NIEZGODA Michał¹

POLSKIE BADANIA W OBSZARZE ELEKTRONICZNEGO POBIERANIA OPŁAT DROGOWYCH

W referacie przedstawiono wyniki testów projektu Krajowego Systemu Automatycznego Poboru Opłat (KSAPO). System składał się z czterech urządzeń pokładowych - OBU, dwóch bramek kontrolnych oraz laboratoryjny modelu krajowej centrali automatycznego poboru opłat KCAPO. OBU jest wyposażone w moduł GPS, GSM oraz DSRC, co zapewnia mu interoperacyjność z innymi systemami EETS w państwach członkowskich UE. System rozpoznał wszystkie cztery testowane urządzenia Tripon EU typu GPS/GSM, ponadto francuskie urządzenie OBU – Passango typu DSRC (5,8 GHz) oraz niemieckie Toll Collect (GPS/GSM/IR). Świadczy to o tym, że system KSAPO jest interoperacyjny, może współpracować zarówno z systemami typu DSRC, jak i GPS/GSM, które aktualnie stosowane są w UE. Skuteczność KSAPO wyniosła 99,9 %.

POLISH RESEARCHES ON THE SUBJECT OF ELECTRONIC TOLL COLLECTION

The paper presents tests results of the National Automatic Toll Collection System (NATCS). The system includes four on-board intelligent devices - OBU, two control gates and laboratory model of National Automatic Toll Collection Centre (NATCC). 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. System has recognized not only four OBU Tripon – EU but also OBU from Toll Collect (GPS/GSM/IR) from Germany) and Passango (DSRC) from France which approved interoperability of two types of systems, DSRC and GPS/GSM used among EU member States. The system is reliable, its effectiveness of Automatic Number Plate Recognition (ANPR) was 99,9%.

¹ Instytut Transportu Samochodowego/Centrum Zarządzania i Telematyki Transportu, ul. Jagiellońska 80,
03-401 Warszawa, gabriel.nowacki@its.waw.pl, tomasz.kaminski@its.waw.pl, mikolaj.kruszewski@its.waw.pl,
michal.niezgoda@its.waw.pl

1. WSTĘP

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

Urządzenie pokładowe OBU, pracujące w systemie DSRC², 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 [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. Nawet w przypadku systemu DSRC, gdzie dostawcą jest firma Kapsch, każde państwo posiada inny typ urządzenie pokładowego OBU.

Innym rozwiązaniem są systemy wykorzystujące technologię telefonii komórkowej GSM oraz pozycjonowania satelitarnego GPS. W systemie tym, dzięki pozycjonowaniu satelitarnemu GPS organizowane są wirtualne punkty kontroli i poboru opłat, system może działać bez wykorzystania bramek 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 [4].

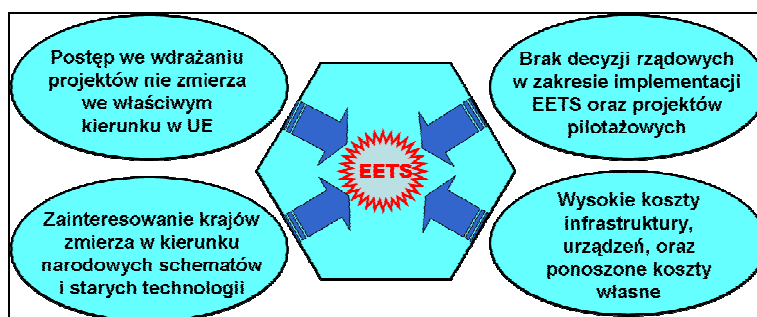
Pomimo wdrożonej dyrektywy oraz podjętej decyzji przez KE, w dalszym ciągu występują opóźnienia w implementacji EETS w Unii Europejskiej. Postęp we wdrażaniu EETS nie zmierza we właściwym kierunku, rządy państw członkowskich reprezentują różne stanowiska w zakresie technologii, preferując starą technologię DSRC i narodowe schematy. Brak jest decyzji rządowych w zakresie implementacji EETS i realizacji projektów pilotażowych, jak również brak jest kooperacji na poziomie Wspólnotowym (rys. 1).

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

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.

października 2009 roku, w sprawie definicji europejskiej usługi opłaty elektronicznej (EETS) oraz architektury systemu [3].

Europejska usługa opłaty elektronicznej ma być dostępna od 1 stycznia 2013 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 od stycznia 2015 roku.



Rys. 1. Analiza ogólnoeuropejskiego systemu elektronicznego pobierania opłat drogowych
Źródło: *European-Wide Interoperable Electronic Toll Service Delayed Despite Need*, Frost & Sullivan, 2010,

KE dąży do zapewnienia interoperacyjności elektronicznego pobierania opłat, która ma polegać na tym, że użytkownik, zawierający umowę z pojedynczym dostawcą EETS, powinien mieć możliwość dokonywania opłat drogowych na wszystkich obszarach EETS, w ramach europejskiej sieci drogowej, za pomocą jednego urządzenia pokładowego OBU.

Najlepszym uniwersalnym rozwiązaniem w UE w zaistniałej sytuacji, jest wdrożenie systemu hybrydowego (DSRC, GSM, GPS), w Czechach aktualnie trwają prace nad takim systemem, projekt pilotażowy KSAPO jest takim rozwiązaniem.

2. TESTY PROJEKTU KSAPO

Testy działania KSAPO (rys. 2) przeprowadził zespół badawczy złożony z pracowników Instytutu Transportu Samochodowego, firmy FELA Management AG oraz Autoguard SA. 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.

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. 2. Zespół badawczy i elementy systemu

Trasa testowa obejmowała:

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

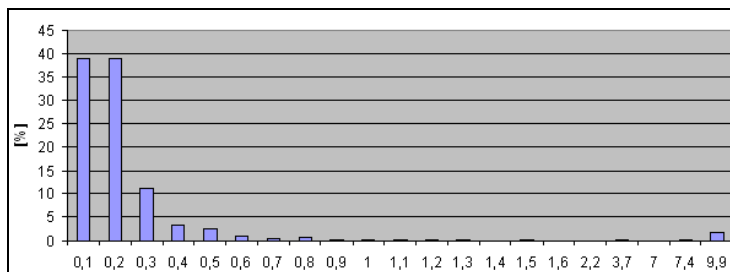
Na podstawie zarejestrowanych danych, przesyłanych przez pojazd w postaci komunikatów, możliwe było dokładne odtworzenie trasy przejazdu pojazdu z urządzeniem OBU.

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).

Poniższy wykres przedstawia rozkład parametru PDOP uzyskanego w testach (rys. 3). Na osi poziomej (X) znajdują się wartości parametru PDOP. Na osi pionowej (Y) jest ilość pomiarów (w procentach) podczas których uzyskano daną wartość PDOP.

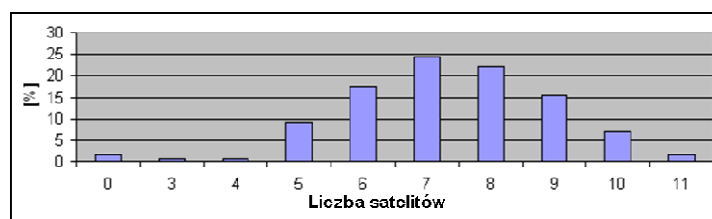
Na potrzeby systemu KASPO przyjęto, że odbiornik GPS w OBU powinien śledzić 5 satelitów, a współczynnik PDOP powinien zawierać się od 1 do 6, dla większej dokładności obliczeń i na wypadek utraty sygnału od jednego z nich.



Rys. 3. Rozkład PDOP dla wszystkich OBU

Statystyki zostały wykonane dla 4627 pomiarów pozycji. Z przedstawionego wykresu (rys. 2) wynika, że testowane OBU miały odpowiednio: 91% wartości idealnych (poniżej 1) oraz odpowiednio 8% wartości znakomitych (poniżej 3), co świadczy o tym, że uzyskano znacznie lepsze wyniki niż zakładano.

Ponadto przyjęto, aby liczba dostępnych satelitów do lokalizacji, w 90% przypadków, wynosiła minimum 5. Z danych statystycznych wynika (rys. 4), że liczba dostępnych minimum pięciu satelitów w trakcie prowadzenia testów wyniosła aż 99% (5 – 10%, 6 – 17%, 7 – 25%, 8 – 22%, 9 – 16%, 10 – 7%, 11 – 2%).



Rys. 4. Liczba satelitów GPS wykorzystanych do pomiaru lokalizacji

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. 5).



Rys. 5. 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 6.



Rys. 6. 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), 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.

Pojazd został całkowicie zidentyfikowany w systemie, jako jego użytkownik, dane kontekstowe (ANPR oraz DSRC) były zgodne.

Wszystkie segmenty podczas testów 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.

W dniu 1 marca 2011 r. w siedzibie Instytutu Transportu Samochodowego w Warszawie odbyła się konferencja, na której został zademonstrowany pokaz działania Krajowego Systemu Automatycznego Pobierania Opłat za przejazd autostradami i drogami ekspresowymi dla. Współorganizatorem konferencji była firma AutoGuard S.A., inicjator wprowadzania na polski rynek nowoczesnych systemów telematycznych oraz firma FELA Management AG.

Udział w konferencji wzięli przedstawiciele Ministerstwa Infrastruktury, Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad, Komendy Głównej Policji, Inspekcji Transportu Drogowego, pracownicy naukowcy uczelni wyższych oraz dziennikarze.

Pokaz działania systemu zakończył się pełnym sukcesem, elementy systemu pracowały niezawodnie, wszystkie przejeżdżające pojazdy zostały w systemie zarejestrowane.

W dniu 25 maja 2011 roku Instytut Transportu Samochodowego został wyróżniony tytułem Lider ITS w kategorii: Najlepsza Praca Badawcza, za projekt struktury funkcjonalnej Krajowego Systemu Automatycznego Poboru Opłat za przejazd autostradami i drogami ekspresowymi.



Rys. 7. Dyplom - Lider ITS 2011

3. WNIOSKI

Przyjęta struktura systemu KSAPO jest zgodna z dyrektywą 2004/52/WE, decyzją KE z dnia 6 października 2009 oraz standardami Wspólnotowymi.

System KSAPO rozpoznał wszystkie cztery testowane urządzenia Tripon EU typu GPS/GSM, francuskie urządzenie OBU – Passango typu DSRC (5,8 GHz) oraz niemieckie Toll Collect (GPS/GSM/IR). Świadczy to o tym, że system KSAPO jest interoperacyjny, może współpracować zarówno z systemami typu DSRC, jak i GPS/GSM, które aktualnie stosowane są w UE.

Przeprowadzone testy pozwoliły wyciągnąć wiele pozytywnych wniosków. Proponowane przez ITS, AutoGuard oraz firmę FELA rozwiązanie spełnia warunki systemu hybrydowego.

Skuteczność rozpoznawania pojazdów (ANPR oraz DSRC) wyniosła 99,9%. Dane PDOP wyniosły 91% wartości idealnych (poniżej 1) oraz i 8 % znakomitych (poniżej 3). Podczas lokalizacji w systemie GPS dostępnych było od 5 do 11 satelitów, co stanowiło 99% wszystkich pomiarów.

Testowany system okazał się bardzo elastyczny. Może być stosowany dla praktycznie każdej kategorii dróg (ekspresowe, krajowe) oraz każdego rodzaju pojazdów. Istnieje możliwość definiowania opłat drogowych, przy pomocy narzędzi „wirtualnych”. Oznacza to łatwą i szybką zdolność adoptowania zmian parametrów opłat drogowych (klasyfikacja dróg, typy pojazdów, klasy emisji spalin, naliczanie czasowe – godziny szczytu, inna pora dnia, niedziele i święta). Istotną zaletą systemów nowej generacji GPS/GSM jest mała liczba bramek kontrolnych. System pracuje bez dodatkowych punktów kontrolnych i innych elementów infrastruktury budowanych wzdłuż dróg. Kolejnym atutem jest możliwość wsparcia innych systemów, służb i usług transportowych, wykorzystujących podobną platformę technologiczną.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Černý K., *Electronic toll collection in the Czech Republic*. International Conference, Sofia, 17 September 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 & Envisaged Road Toll Policies in the Central-Eastern-European Countries*. Seminar - PIARC TC A.3. Budapest, 6-7 May, 2009.