

**Zbigniew MARSZAŁEK, Ryszard SROKA**

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA, KATEDRA METROLOGII, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

**Wirtualny przyrząd do pomiaru profili bocznych pojazdów z wykorzystaniem czujnika laserowego****Mgr inż. Zbigniew MARSZAŁEK**

Ukończył studia na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki AGH w 2008 roku. Obecnie jest doktorantem w Katedrze Metrologii AGH. Jego zainteresowania naukowe skupiają się na systemach pomiaru parametrów ruchu drogowego, zagadnieniach implementacji algorytmów przetwarzania sygnałów oraz prezentacji danych w układach programowalnych i systemach wbudowanych.



e-mail: antic@agh.edu.pl

**Dr hab. inż. Ryszard SROKA**

Ukończył studia na Wydziale Elektrotechniki Automatyki i Elektroniki AGH w 1989 r., doktor – 1995, doktor habilitowany – 2009. Obecnie jest adiunktem w Katedrze Metrologii Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. W swoich pracach zajmuje się pomiarami wielkości nieelektrycznych, pomiarami w ruchu drogowym, fuzją danych oraz szeroko pojętym modelowaniem systemów pomiarowych. Jest autorem około 100 prac naukowych, w tym dwóch monografii, trzech rozdziałów w książkach i dwóch skryptych.



e-mail: rysieks@agh.edu.pl

**Streszczenie**

W pracy przedstawiono aplikację wirtualnego przyrządu przeznaczonego do współpracy z laserowym czujnikiem CM2-30 firmy Noptel. Umożliwia ona pełną konfigurację i obsługę czujnika. Podstawowym przeznaczeniem prezentowanego systemu są pomiary i rejestracja profili bocznych pojazdów będących w ruchu. Rejestrowane profile pojazdów są podstawą do określania ich klas, a tym samym umożliwiają analizę parametrów ruchu drogowego. Przedstawiany system może pracować jako stacjonarny lub mobilny. W pracy przedstawiono wyniki badań właściwości metrologicznych czujnika laserowego oraz właściwości i cechy aplikacji współpracującej z tym czujnikiem. Przedstawiono również wyniki pomiarów wykonanych w rzeczywistym ruchu drogowym.

**Słowa kluczowe:** czujniki laserowe, przyrządy wirtualne, pomiary parametrów pojazdów.

**Virtual Instrument with Laser Sensor to Measurement of Side Vehicles Outlines****Abstract**

The paper presents an application of a virtual instrument destined for cooperation with a laser sensor CM2-30's Noptel [3, 4, 5] (see Fig. 1). The application of the virtual instrument was developed in LabView environment. It enables the full configuration and operation of the sensor. Mode and sensor operating parameters can be specified by a user manually by using the available commands and by a set of possible to adjust parameters (see Fig. 2, 3, 4). Primary purpose of the presented system are measurements and registration of the side profiles of vehicles in motion (Fig. 5). Recorded profiles of the vehicles are the basis for determining their class, which is one of the most important parameters in the measurement of traffic parameters [1, 2]. Presented system can operate as a stationary or a mobile one. The paper presents the principle of operation, results of the metrological characteristics of a laser sensor (range, uncertainty, sampling frequency etc.), and features of applications working with this sensor (ten different options in which the sensor can operate). It also presents measurement results collected in real traffic (see Fig. 6, 7).

**Keywords:** laser sensors, virtual instruments, measurements of vehicle parameters.

**1. Wstęp**

Transport drogowy w ciągu kilkunastu ostatnich lat jest, jedną z intensywnie rozwijających się dziedzin w naszym kraju. Jak każda tego typu działalność wymaga nadzoru, sterowania, planowania itp. Podstawą tych wszystkich działań są wyniki estymacji podstawowych (globalnych) parametrów opisujących ruch drogowy. W celu wyznaczenia estymat parametrów globalnych, niezbędne są wyniki pomiarów parametrów każdego indywidualnego pojazdu (prędkość, długość, naciski osi, klasa pojazdu itp.), biorącego udział w ruchu drogowym [1]. Wykonywanie takich pomiarów możliwe jest z wykorzystaniem wielu różnych rodzajów i konfiguracji czujników pomiarowych. Mogą to być czujniki

indukcyjne pętlowe, piezoelektryczne, kwarcowe, pojemnościowe, pneumatyczne, ultradźwiękowe, światłowodowe, akustyczne itp. [2]. Coraz częściej wykorzystuje się w tym celu również laserowe czujniki do pomiaru odległości, które dzięki rozwojowi technologii są dostatecznie małe i odporne na warunki klimatyczne, a także posiadają wystarczająco dobre parametry metrologiczne.

W pracy tej przedstawiono zastosowanie czujnika laserowego CM2-30 oraz aplikację do jego obsługi (konfigurowania i wykonywania pomiarów), które łącznie stanowią wirtualny przyrząd do pomiarów parametrów pojazdów (w szczególności do pomiaru ich profili bocznych). Zastosowany czujnik można konfigurować do wielu różnych trybów pracy przy pomocy 38 parametrów, które często są wzajemnie powiązane. Sprawia to dużą trudność przy prawidłowym wyborze i ustawianiu wartości parametrów. Przygotowana aplikacja ma na celu ułatwienie użytkownikowi przygotowania czujnika do pracy. Zapewnia ona możliwość automatycznej lub ręcznej konfiguracji interfejsu oraz wykonywania pomiarów w wybranym trybie pracy z możliwością obserwowania na bieżąco uzyskiwanych wyników, a w przypadku ciągów danych, zapisywanie ich do pliku. Pozwala również na przygotowanie konfiguracji najczęściej używanych trybów pracy i zapisaniu tych ustawień w odpowiednich plikach konfiguracyjnych, co znacząco ułatwia późniejszą pracę z prezentowanym czujnikiem. Przygotowaną aplikację zastosowano do rejestracji profili bocznych pojazdów w rzeczywistym ruchu drogowym.

**2. Właściwości i parametry czujnika**

W prezentowanej aplikacji wykorzystano czujnik laserowy CM2-30 przedstawiony na rysunku 1.



Rys. 1. Czujnik laserowy CM2-30  
Fig. 1. Laser sensor CM2-30

Jest to czujnik przeznaczony do impulsowych pomiarów odległości. Zasada jego działania oparta jest na technologii *time-in-flight*, polegającej na pomiarze czasu między impulsem wysłanym przez nadajnik i odebrany w odbiorniku oraz znanej prędkości rozchodzenia się fali świetlnej w powietrzu. Ze względu na dużą czułość możliwe jest wykonywanie pomiarów nawet dla obiektów o niewielkich rozmiarach i bardzo małych wartościach współczynnika odbicia (przeprowadzono szereg badań eksperymentalnych dla różnych rodzajów materiałów).

Czujnik pracuje poprawnie w zakresie odległości 2÷30 m, a dla powierzchni o lepszych właściwościach w zakresie 1÷70 m, zaś we współpracy z retroreflektorami nawet do 380 m [3, 4, 5]. Precyzja pojedynczego pomiaru wynosi 5÷20 mm (czujnik udostępnia zawsze średni wynik z co najmniej dwóch pomiarów), a powtarzalność pomiarów jest rzędu 1÷5 mm. Nieliniowość charakterystyki statycznej przy pomiarze odległości obiektów nie przekracza 20 mm. Czujnik może współpracować z niewielkimi obiektami ze względu na małą rozbieżność wiązki tj. 1,9x0,7 mrad (oznacza to, że wiązka lasera zwiększa się o 1,9 x 0,7 mm na każdy metr [3]), co w efekcie na odległości 30 m daje wiązkę o wymiarach 60x20 mm). Charakteryzuje się on dużą częstotliwością wykonywanych pomiarów, rzadko spotykaną w urządzeniach tego typu (nawet do 6 kHz). Ze względu na budowę oraz niski pobór mocy (poniżej 2,5 W) czujnik może być wykorzystywany w aplikacjach stacjonarnych lub mobilnych oraz w różnych warunkach klimatycznych (nawet przy dużej wilgotności i w szerokim zakresie zmienności temperatury: -20÷60°C).

Dużą zaletą czujnika, poszerzającą zakres jego aplikacji, jest bezpieczeństwo dla oczu człowieka (klasa 1) i praca poza zakresem widzialnym (905 nm). Czujnik wyposażony jest dodatkowo w optyczny laserowy celownik, który wykorzystywany jest na etapie instalacji i pozycjonowania czujnika, a powinien być wyłączony w czasie normalnej pracy. Celownik może być włączany i wyłączany programowo. Komunikacja z czujnikiem realizowana jest poprzez interfejs RS232 (z szybkością transmisji wybieraną z zakresu 1200 do 115200 bps), a dodatkowo dostępne są: wyjście analogowe (opcja) oraz sygnały cyfrowe (np. trigger zewnętrzny). Możliwość współpracy kilku czujników, a także komunikacji z użytkownikiem oraz wysoka częstotliwość pracy urządzenia możliwa jest dzięki wbudowanemu wysokowydajnemu procesorowi.

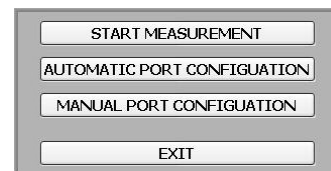
Dzięki wskazanym wcześniej zaletom (szybkość pomiarów, bezpieczeństwo dla człowieka, odporność na warunki klimatyczne, możliwość mobilności) czujnik taki doskonale nadaje się do zastosowania w pomiarach parametrów ruchu drogowego. Poczynając od pomiarów prędkości pojazdów, natomiast obecnie dzięki ich intensywnemu rozwojowi możliwe są następujące aplikacje w zakresie kontroli ruchu drogowego [3, 4]: detekcja pojazdów, sterowanie światłami i detekcja ich przekroczeń, pomiary prędkości (w zakresie 10÷250 km/h), pomiary profili pojazdów (skorelowane z pomiarem prędkości pozwalają określić wysokość i długość pojazdu), klasyfikacja pojazdów, wyzwalanie kamer i aparatów fotograficznych w przypadkach przekroczeń zasad ruchu drogowego itp. Typowy sposób instalacji czujnika to zawieszenie go 5÷7 m nad nawierzchnią jezdni (mosty, wiadukty, specjalnie przygotowane wysięgniki). Pewną niedogodnością przy zastosowaniu czujnika do rejestracji profili pojazdów jest niewielki obszar dostępnej pamięci pozwalający na zapisanie tylko tysiąca wyników.

Przeprowadzono testy czujnika dla różnych odległości, koloru (9 różnych kolorów), faktury (np. metal, drewno, gąbka) i chropowatości powierzchni obiektów (poczynając od lustra do elementów oklejonych papierem ściernym o różnych granulacjach) oraz kątów ich nachylenia. Dla odległości mniejszych od 50 m, w każdym przypadku uzyskiwano poprawne wyniki pomiarów. Dla kątów nachylenia większych od 60° pojawiały się różnice w wynikach pomiarów sięgające kilku centymetrów.

### 3. Aplikacja przyrządu wirtualnego

Opracowana aplikacja wirtualnego przyrządu do współpracy z czujnikiem laserowym pozwala na jego uniwersalne wykorzystanie do różnego typu pomiarów odległości. Przygotowana jednak została pod kątem pomiarów indywidualnych parametrów pojazdów będących w ruchu (w szczególności do rejestracji profili pojazdów).

Aplikacja przygotowana została w środowisku LabView, dzięki czemu posiada prostą i przejrzystą budowę interfejsu graficznego. Składa się ona z trzech wątków: komunikacji z czujnikiem, przetwarzania danych pomiarowych i interfejsu użytkownika - zsynchronizowanych kolejkami. Główne okno aplikacji przedstawiono na rysunku 2. Pozwala ono na uruchomienie ręcznej bądź automatycznej konfiguracji portu komunikacyjnego, uruchomienie programu współpracy z czujnikiem (najbardziej rozbudowana opcja) lub opuszczenie aplikacji.



Rys. 2. Główne okno aplikacji

Fig. 2. The main window of application

W opcji pomiarowej, możliwe do wykonania akcje pogrupowano na pięciu zakładkach. Oprócz zakładek zawsze dostępne są pola prezentacji wyników pomiaru, wyzwalanie triggera, włączenie i wyłączenie celownika (*pointer*), ustawianie pojedynczego pomiaru (*single*) lub pomiaru ciągłego (*continual*), ustawienie trybu pracy (*mode*) lub wyjście z niego do trybu podstawowego (*cancel*).

Jedną z dostępnych zakładek jest *Terminal*, pozwalający na manualną komunikację z urządzeniem. W polu *Command* możliwe jest wpisywanie poleceń dla urządzenia, a w innym polu obserwacja odbieranych danych lub komunikatów wysyłanych przez urządzenie. Polecenia dla czujnika zawsze wysyłane są w formacie ASCII, a czujnik w zależności od wyboru użytkownika odpowiada w formacie ASCII lub binarnym.

Zakładka *Mode Configuration*, przedstawiona na rysunku 3, umożliwia wybór trybu pracy czujnika.

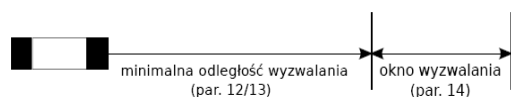


Rys. 3. Konfiguracja trybów pracy czujnika

Fig. 3. Configuration of sensor modes

Po wybraniu odpowiedniego trybu pracy urządzenia, ujawniany jest zestaw parametrów związanych z tym trybem i możliwy jest wówczas wybór wartości tych parametrów. Dostępnych jest dziesięć konfigurowalnych trybów pracy czujnika:

1. Tryb podstawowy - jest szczególnym trybem przeznaczonym do konfigurowania pracy urządzenia. Istnieje możliwość odczytywania aktualnych parametrów, zmiany ich wartości i zapisu do pamięci czujnika. Czujnik reaguje tylko na komendy przychodzące z zewnątrz, nie ma natomiast możliwości podjęcia pracy autonomicznej.
2. Tryb pomiaru ciągłego (format danych ASCII) - czujnik dokonuje pomiarów odległości zadaną częstotliwością aż do czasu zatrzymania przez użytkownika. Dane wysyłane są w formacie ASCII.
3. Tryb pomiaru ciągłego (format danych binarny) - działa jak tryb poprzedni, a dane wysyłane są w formacie binarnym (pozwala na stosowanie większych częstotliwości próbkowania).
4. Tryb wyzwalania sprzętowego - dane dostępne są w formacie binarnym, a pomiar z zadaną częstotliwością rozpoczyna się w momencie aktywowania stanem niskim wejścia wyzwalania zewnętrznego (trigger) i trwa do czasu jego dezaktywacji (przejście sygnału wyzwalania do stanu wysokiego). Zalecana jest częstotliwość pomiarów wybierana z przedziału 100 Hz÷2 kHz.
5. Tryb wyzwalania programowego - działa jak tryb poprzedni, jedynie aktywacja i dezaktywacja pomiaru odbywa się programowo, poprzez wysłanie odpowiedniego polecenia do czujnika.
6. Tryb wyzwalania oknem - dane dostępne w obu formatach. Pomiar wykonywany w sposób ciągły z zadaną częstotliwością, ale zapamiętywanie wybranej liczby danych rozpoczyna się, jeśli w zadanym przedziale odległości (oknie) zostanie wykryty obiekt. Zarówno odległość okna od czujnika, jak i jego szerokość, określane są poprzez ustawienie odpowiednich parametrów (patrz rysunek 4). Ten tryb pracy jest odpowiedni do pomiarów profili pojazdów.



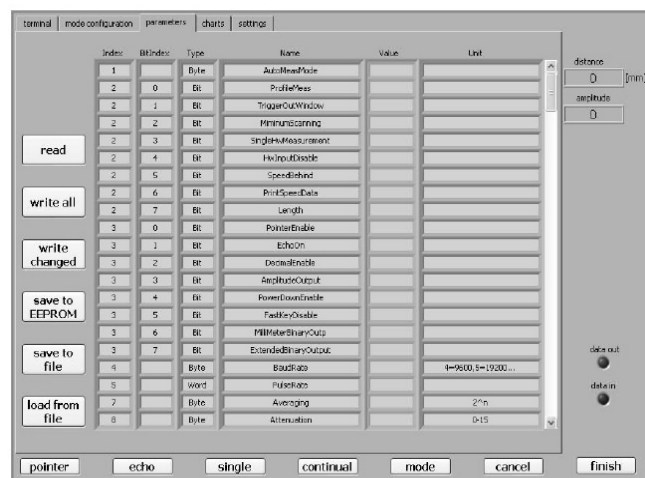
Rys. 4. Tryb wyzwalania oknem

Fig. 4. Mode of window triggering

7. Tryb pomiaru prędkości za pomocą dwóch czujników - może być realizowany jeśli dostępne są dwa współpracujące ze sobą czujniki. Czujnik pierwszy pracuje w trybie wyzwalania oknem i po wykryciu obiektu wystawia sprzętowy sygnał wyzwalania (trigger) dla drugiego czujnika znajdującego się w znanej odległości. Znajomość tej odległości (ustawianej jako parametr) oraz pomiar czasu (realizowany w drugim czujniku) od momentu wykrycia obiektu przez pierwszy czujnik do chwili wykrycia obiektu przez drugi czujnik, pozwala na wyznaczenie prędkości średniej pojazdu na odcinku równym odległości między czujnikami. W tym trybie aplikacja odbiera dane jedynie z drugiego urządzenia. Wynik pomiaru prędkości, w zależności od wyboru użytkownika, może być przesyłany w kilometrach lub milach na godzinę. W tym trybie możliwy jest również pomiar długości pojazdu oraz rejestracja jego profilu. Jest to więc tryb pracy najbardziej pożądany z punktu widzenia pomiarów profili pojazdów, przeznaczonych do ich klasyfikacji oraz analizy parametrów ruchu drogowego.

8. Tryb przechwytywania z wyzwalaniem sprzętowym - pozwala na zebranie do wewnętrznego bufora tysiąca danych pomiarowych, po aktywacji zewnętrznym sygnałem wyzwalającym a następnie przesłanie ich do użytkownika w formacie ASCII.
9. Tryb przechwytywania z wyzwalaniem programowym - działa jak tryb poprzedni jedynie wyzwolenie pomiaru realizowane jest programowo.
10. Tryb ciągłego pomiaru prędkości - w tym przypadku czujnik powinien być ustawiony na wprost poruszającego się obiektu (jak przy pomiarach radarowych). Wykonywane są ciągłe pomiary odległości i na podstawie dwóch kolejnych pomiarów (jeśli są one różne) i znajomości częstotliwości wykonywania tych pomiarów możliwe jest estymowanie prędkości obiektu. Często wyniki kolejnych pomiarów odległości są uśredniane.

Zakładka *Parameters* umożliwia równoczesny dostęp do wszystkich parametrów czujnika. Umożliwia ich odczyt z pamięci czujnika, edycję, zapisywanie do pliku, odczytanie przygotowanych parametrów z pliku, a także zapisanie ich do pamięci czujnika. Należy rozróżnić dwa rodzaje zapisu do pamięci. Jeden odbywa się do pamięci podręcznej (zapis wszystkich parametrów lub tylko ostatnio zmienionych), która po włączeniu urządzenia jest czyszczona i wymaga ponownego zapisu, drugi zapis odbywa się do pamięci trwałej. Zakładka ta przedstawiona jest na rysunku 5.



Rys. 5. Wybór parametrów czujnika

Fig. 5. Choice of sensor parameters

W zakładce *Charts* można podglądać na bieżąco uzyskiwane wyniki pomiarów w postaci graficznej. Jedną możliwością, to wprost wyniki pomiaru odległości, a druga to różnica między odległością bazową (np. odległość od czujnika do podłoża) i wynikiem pomiaru odległości. W ten sposób wyznaczony może być wprost profil pojazdu. Opcja ta w przypadku rejestracji profili pojazdów jest dużo wygodniejsza dla użytkownika.

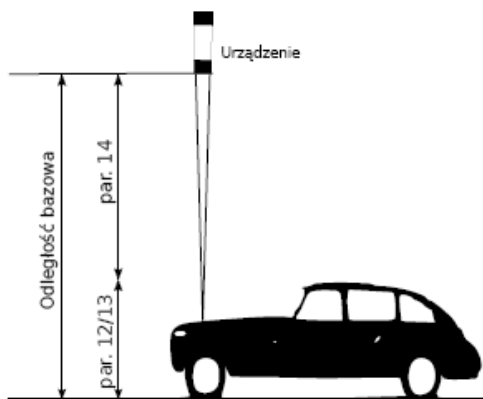
Zakładka *Settings* pozwala na skonfigurowanie aplikacji: wybór numeru portu szeregowego i szybkości transmisji danych. W przypadku problemów z synchronizacją dostępny jest przycisk *Reset*, który przywraca stan pracy zgodny z parametrami zapisanymi w pamięci trwałej czujnika. W zakładce tej można również ustawić ścieżkę dostępu oraz nazwę pliku, w którym mają być zapisywane bieżące dane pomiarowe, i uaktywnić proces zapisu tych danych.

#### 4. Pomiary profili pojazdów

W ramach niniejszej pracy przeprowadzono badania testowe opracowanej aplikacji w zastosowaniu do pomiarów profili pojazdów będących w ruchu. Badania przeprowadzono przy wykorzy-

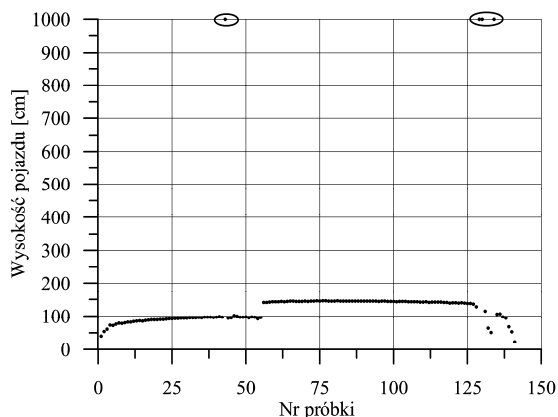
staniu jednego czujnika (co ograniczyło możliwość testowania wszystkich omówionych wcześniej trybów pracy) w rzeczywistym ruchu drogowym, w którym poruszały się dwa wybrane pojazdy testowe. Profile rejestrowano korzystając tylko z jednego czujnika laserowego, w związku z czym nieznaną jest wartość prędkości przejeżdżających pojazdów. Czujnik pracował jedynie jako detektor obiektu i rejestrator jego profilu. Układ pracował w trybie wyzwalania oknem. Sytuację na stanowisku pomiarowym przedstawia rysunek 6.

Czujnik zamocowany był na wysokości 10 m (odległość bazowa), odległość do okna była równa 8 m, a szerokość okna wynosiła 1,9 m (aby uniknąć fałszywych detekcji pochodzących od fluktuacji wyników pomiarowych odpowiadających odległości od nawierzchni). Rejestrowano tylko profile pojazdów osobowych.



Rys. 6. Stanowisko pomiarowe  
Fig. 6. Measurement site

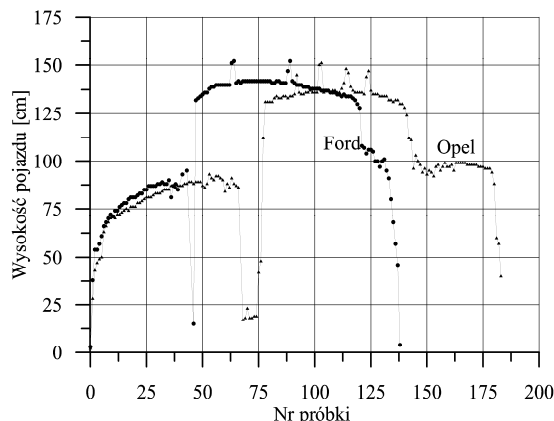
Pewnym problemem przy rejestracji profili są wyniki odpowiadające odbiciu od szyb pojazdu. Zdarza się, że impuls wysłany przez czujnik ulega takiemu odbiciu lub rozproszeniu, że odbiornik nie rejestruje żadnego sygnału i wówczas wynik pomiaru przyjmowany jest jako wartość równa zero. Przy pomiarze profilu z uwzględnieniem odległości bazowej, uzyskuje się wtedy wynik równy tej odległości. Błąd tego typu są łatwe do wyeliminowania na etapie dalszego przetwarzania sygnału profilu.



Rys. 7. Profil pojazdu z niepoprawnymi wynikami  
Fig. 7. Profile of vehicle with incorrect results

Drugim problemem są wyniki uzyskane w przypadku, kiedy wiązka lasera odbija się od elementów znajdujących się za szybą w głębi pojazdu. Takie wyniki zaburzają wzorcowy kształt profilu pojazdu (może to powodować pewne problemy w procesie klasy-

fikacji pojazdów, kiedy następuje porównanie profilu aktualnego z przygotowanym wcześniej profilem wzorcowym). Jako pojazdy testowe wykorzystano Opla Astrę i Forda Fiestę. Uzyskane profile przedstawiono na rysunku 8. Obydwa pojazdy wyposażone były w uchwyty bagażnika dachowego. Ponieważ mają one podobną długość, zarejestrowane profile wskazują, że każdy pojazd jechał z inną prędkością.



Rys. 8. Profile pojazdów testowych  
Fig. 8. Profiles of test vehicles

## 5. Wnioski

W pracy przedstawiono wirtualny przyrząd współpracujący z laserowym czujnikiem odległości. Pozwala on na uniwersalne wykorzystanie właściwości tego czujnika. Aplikacja umożliwia również zastosowania w pomiarach parametrów pojazdów (detekcja i rejestracja profili). Wykazano, że w tym zastosowaniu pracuje ona w pełni poprawnie. Uzyskiwane profile pozwalają na wstępną klasyfikację pojazdów [1]. Aby klasyfikacja była w pełni efektywna, aplikacja będzie rozwijana i zostanie uzupełniona o możliwość pomiaru prędkości i współpracy z innymi czujnikami (np. indukcyjnym pętlowym) w celu realizacji fuzji danych w oparciu o profile uzyskane z obu czujników.

## 6. Literatura

- [1] Gajda J., Sroka R.: Pomiary i przetwarzanie sygnałów w systemach monitoringu ruchu drogowego. Materiały Sympozjum – Perspektywy i prognozy rozwojowe badań na styku automatyki i metrologii. Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin-Niechorze 2005, pp. 135-150.
- [2] Gajda J., Sroka R., Stencel M., Wajda A., Żegleń T.: Systemy wazenia pojazdów samochodowych w ruchu. Drogownictwo, nr.3 (2001), Wydawnictwo Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji, pp. 78-81.
- [3] Distance Sensor CM2-30/CMP2-30. Technical Manual Software. Version 0.22.32, Noptel Oy, doc.nr: n40840ce edition, January 2005.
- [4] Tervaskanto M.: Lasers Targeted, Finland Focus. Traffic Technology International, Dec'2004/Jan'2005, pp. 48-50.
- [5] Laser Sensors for Traffic Control. Thinking Highways. Vol 1, Issue 1, 2006, pp. 71.

otrzymano / received: 08.07.2010  
przyjęto do druku / accepted: 02.08.2010

artykuł recenzowany