

Janusz GAJDA, Zbigniew MARSZAŁEK, Piotr PIWOWAR, Ryszard SROKA, Marek STENCEL, Tadeusz ŻEGLEŃ
 AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA W KRAKOWIE, KATEDRA METROLOGII, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

System o zmiennej strukturze do pomiaru parametrów ruchu drogowego

Prof. dr hab. inż. Janusz GAJDA

Profesor zwyczajny zatrudniony w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Kierownik Katedry Metrologii. Jest członkiem Komitetu Metrologii i Aparatury Naukowej PAN. Jest autorem ponad 130 publikacji naukowych w tym 4 książek i ponad 50 artykułów w czasopiśmie. Jego zainteresowania naukowe obejmują m.in. badania symulacyjne systemów pomiarowych, przetwarzanie sygnałów, pomiarowe wyznaczanie modeli obiektów identyfikacji, pomiary biomedyczne, pomiary parametrów ruchu drogowego.

e-mail: jgajda@agh.edu.pl



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 inż. Piotr PIWOWAR

Ukończył studia na Wydziale Elektrotechniki Automatyki Informatyki i Elektroniki AGH w 1999 r., uzyskał stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna w 2007 r. Obecnie zatrudniony na stanowisku asystenta w Katedrze Metrologii AGH. Zajmuje się modelowaniem i konstrukcją systemów pomiarowych w biomedycynie, oraz pomiarami parametrów pojazdów w ruchu.

e-mail: ppiwowar@agh.edu.pl



Dr hab. inż. Ryszard SROKA

Ukończył studia na Wydziale Elektrotechniki Automatyki i Elektroniki AGH w 1989 r., dr - 1995 r., dr hab. - 2009 r. 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 i dwóch skryptów.

e-mail: rysieks@agh.edu.pl



Dr inż. Marek STENCEL

Urodzony 3 kwietnia 1965 r. Ukończył studia na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Elektroniki, AGH w Krakowie w 1990 r. W 1998 r. uzyskał stopień doktora na tym samym wydziale. Autor ponad 60 prac z zakresu miernictwa i przetwarzania sygnałów. Zajmuje się konstruowaniem przyrządów pomiarowych wykorzystujących technikę mikrokontrolerów oraz DSP. Głównym obszarem zainteresowań zawodowych są pomiary parametrów ruchu drogowego. Pracuje jako adiunkt w Katedrze Metrologii AGH w Krakowie.

e-mail: masten@uci.agh.edu.pl



Dr inż. Tadeusz ŻEGLEŃ

Ukończył studia na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Elektroniki AGH w 1978 r. Tytuł doktora uzyskał w 1989 r. Jest adiunktem w Katedrze Metrologii AGH. Głównie zainteresowania naukowe dotyczą zagadnień projektowania systemów pomiarowych, modelowania i badań symulacyjnych systemów pomiarowych, analizy sygnałów, pomiarów bio-medycznych, pomiarów parametrów wyładowań elektrostatycznych i pomiarów parametru ruchu drogowego. Autor ok. 70 prac i 6 patentów.

e-mail: tezet@agh.edu.pl



Streszczenie

W pracy przedstawiono system pomiarowy o zmiennej strukturze umożliwiający pomiar różnorodnych parametrów ruchu drogowego. Poprzez prostą zmianę struktury użytkownik może dostosować właściwości systemu do swoich aktualnych potrzeb. System pozwala na przeprowadzenia zarówno prostych pomiarów obejmujących liczbę pojazdów, szybkość i długość każdego z nich oraz czas pojawienia się na stanowisku pomiarowym, jak również pomiarów bardziej złożonych jak np. pomiar nacisku osi oraz masy całkowitej pojazdu poruszającego się z szybkością, nawet do 90 km/h.

Słowa kluczowe: systemy pomiarowe, parametry ruchu drogowego, systemy WIM.

A flexible structure system for measuring road traffic parameters

Abstract

The paper describes a system designed for measurements of road traffic parameters. Its flexible structure allows tailoring the system features to current user's needs. The designed and realised system allows for measurement of different sets of traffic parameters such as number of vehicles, individual vehicle speed and length, as well as the time of passing the measurement site, up to more advanced weighing in motion. Due of compact form and alternative supply mode (230 V AC and 12 V DC), the system is fully portable. The performed field tests confirmed its usability.

The uncertainty of the measured parameters corresponds to this available in commercially offered systems which usually do not allow their structure to be tailored. The innovations used in the system are: implementation of the individual vehicle speed estimation based on the magnetic signature from a single loop detector, application of a self-balancing circuit cooperating with the inductive loop detector, the axle detecting system based on the signal from a narrow (10 cm) inductive loop detector, auto-calibration procedure of the WIM system - a new, high-resolution vehicle classification algorithm.

Keywords: measurement systems, road traffic parameters, WIM systems.

1. Wstęp

Opracowany w Katedrze Metrologii AGH system pomiaru parametrów ruchu drogowego umożliwia współpracę z różnymi typami i różną liczbą typowych czujników pomiarowych (pętle indukcyjne, taśmowe, piezoelektryczne detektory osi pojazdu, taśmowe, piezoelektryczne czujniki nacisku, kwarcowe czujniki nacisku) oraz umożliwia pomiar różnych parametrów ruchu drogowego.

System posiada strukturę modułową tj. zawiera jeden uniwersalny moduł cyfrowego przetwarzania sygnałów oraz wymienne moduły analogowego kondycjonowania sygnałów z czujników pomiarowych, których liczbę oraz typ będzie dobierał użytkownik zależnie od swoich aktualnych potrzeb, wynikających ze zbioru

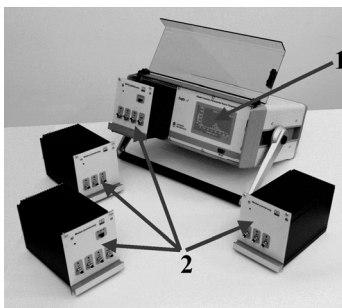
mierzonych parametrów. Moduł cyfrowy jest wyposażony w szeroką gamę algorytmów estymacji parametrów ruchu drogowego, adekwatnych do możliwych typów i konfiguracji stosowanych czujników pomiarowych.

Modyfikacja struktury i funkcji systemu sprowadza się do zainstalowania odpowiedniego typu modułu kondycjonowania sygnału i połączenia go z odpowiednimi czujnikami. System samodzielnie rozpoznaje swoją konfigurację i uruchamia odpowiadający jej algorytm estymacji parametrów. Skonstruowano dziewięć modułów kondycjonowania sygnałów pomiarowych. Oznacza to, że zbudowany rekonfigurowalny system pomiarowy może wypełniać rolę dziewięciu różnych systemów, współpracujących z różnymi typami i liczbą czujników pomiarowych od najprostszego systemu współpracującego z pojedynczą pętlą indukcyjną, aż po system WIM współpracujący z podwójną linią kwarcowych czujników nacisku.

Zmiana typu, liczby i konfiguracji czujników nie tylko umożliwia pomiar innych parametrów pojazdów i ruchu drogowego, ale również w wielu przypadkach wpływa na dokładność ich pomiaru.

2. Opis systemu

Jak wspomniano w poprzednim rozdziale system posiada niewymienialny uniwersalny moduł cyfrowy oraz dziewięć wymiennych modułów kondycjonowania sygnałów z czujników pomiarowych (rysunek 1). Różne konfiguracje systemu umożliwiają pomiar takich parametrów jak: czas pojawienia się pojazdu w strefie pomiarów, liczba pojazdów w zadanym przedziale czasu, prędkość, długość pojazdu, liczba osi, odległości pomiędzy osiami, występowanie przyczepy, klasyfikacja pojazdów na podstawie ich profili magnetycznych, klasyfikacja na podstawie liczby osi (różne schematy klasyfikacji np. schemat FHWA F), naciski dynamiczne i statyczne poszczególnych osi oraz masa całkowita pojazdu poruszającego się z prędkością drogową (systemy WIM – Weigh-In-Motion).



Rys. 1. System pomiarowy z wymiennymi modułami analogowymi.

1 – uniwersalny moduł cyfrowy, 2 – moduły analogowe

Fig. 1. Measurement system with analogue signal units.

1 – universal digital unit, 2 – analog units

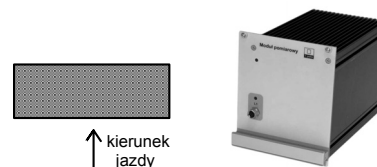
Pomimo, że zrealizowany projekt miał charakter projektu rozwojowego, to do zbudowanego systemu wprowadzono nowatorskie rozwiązania techniczne, w istotny sposób podnoszące jego walory użytkowe. Do takich innowacji należą: algorytm estymacji szybkości pojazdu samochodowego w układzie pomiarowym współpracującym z pojedynczą pętlą indukcyjną, detekcja osi pojazdu na podstawie jego profilu magnetycznego, system automatycznego równoważenia układu współpracującego z pętlą indukcyjną w celu eliminacji długookresowej niestacjonarności układu, spowodowanej zmianą temperatury nawierzchni jezdni, algorytm autokalibracji dla systemów WIM. Obecnie wprowadzone innowacje są przedmiotem postępowania patentowego.

System został wyposażony w wewnętrzną pamięć umożliwiającą zapamiętanie parametrów około 150 tys. pojazdów, ciekłokrystaliczny ekran dotykowy umożliwiający sterowanie pracą systemu, a także bieżącą wizualizację wyników pomiarowych oraz zagregowanych charakterystyk opisujących ruch drogowy w strefie zainstalowania systemu, łącze RS232 umożliwiające

transmisję danych do zewnętrznego urządzenia, modem GSM umożliwiający bezprzewodową transmisję zarówno bieżących danych pomiarowych, jak też zbiorów zapisanych w pamięci systemu. System posiada zdolność do automatycznego wykrywania wybranych stanów awaryjnych, głównie wywołanych przez awarie czujników.

Poniżej krótko został przedstawiony każdy z dziewięciu wymiennych modułów analogowych, współpracujących z różnymi zestawami czujników pomiarowych, umożliwiających pomiar różnych parametrów pojazdów.

1. Moduł do współpracy z pojedynczą pętlą indukcyjną przedstawiono na rysunku 2.



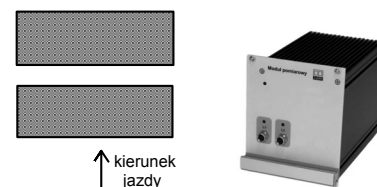
Rys. 2. Pojedyncza pętla indukcyjna i moduł analogowy

Fig. 2. Single loop detector and analog signal unit

System wyposażony w taki moduł umożliwia pomiar:

- czasu przybycia pojazdu (z rozdzielczością 0.01 s),
- liczby pojazdów (w zadanym czasie),
- odstępów czasowych pomiędzy pojazdami (rozdzielczość 0.01 s),
- profilu magnetycznego i opartej na nim klasyfikacji pojazdów (wyróżniane są 4 klasy: osobowe, dostawcze, ciężarowe, autobusy),
- detekcję przyczepy,
- prędkości (single-loop) (błąd pomiaru od 6 % dla pojazdów osobowych do 23 % dla pojazdów ciężarowych),
- długości pojazdu (błąd pomiaru do 20 %),
- klasy pojazdu ze względu na długość (wyróżniane są 4 klasy pojazdów).

2. Moduł do współpracy z dwiema pętlami indukcyjnymi przedstawiono na rysunku 3.



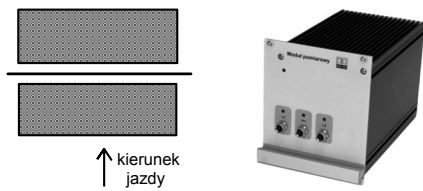
Rys. 3. Para pętli indukcyjnych i moduł analogowy

Fig. 3. Dual loop detector and analog signal unit

W takim przypadku mierzonymi parametrami są:

- czas przybycia pojazdu (z rozdzielczością 0.01 s),
- liczba pojazdów (w zadanym czasie),
- odstępy czasowe pomiędzy pojazdami (rozdzielczość 0.01 s),
- profil magnetyczny i oparta na nim klasyfikacja pojazdów (wyróżniane są 4 klasy pojazdów: osobowe, dostawcze, ciężarowe, autobusy),
- detekcja przyczepy,
- prędkość (błąd pomiaru w sensie odchylenia standardowego 1.5 %),
- długość pojazdu (błąd pomiaru w sensie odchylenia standardowego 2 %),
- klasyfikacja pojazdu ze względu na długość (wyróżniane są 4 klasy pojazdów).

3. Moduł do współpracy z dwiema pętlami indukcyjnymi oraz pojedynczym piezoelektrycznym detektorem osi przedstawiono na rysunku 4.



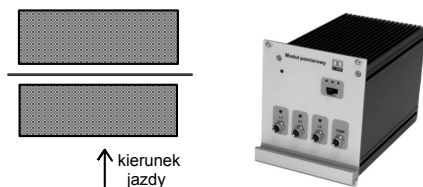
Rys. 4. Para pętli indukcyjnych z pojedynczym detektorem osi i moduł analogowy
Fig. 4. Dual loop system with single axle detector and analog signal unit

Taka konfiguracja czujników pozwala na pomiar:

- czasu przybycia pojazdu (z rozdzielczością 0.01 s),
- liczby pojazdów (w zadanym czasie),
- odstępów czasowych pomiędzy pojazdami (rozdzielczość 0.01 s),
- detekcję przyczepy,
- prędkości (błąd pomiaru w sensie odchylenia standardowego 1.5 %),
- długości pojazdu (błąd pomiaru w sensie odchylenia standardowego 2 %),
- liczby osi,
- odległości pomiędzy osiami (błąd pomiaru 2 %),
- klasyfikację pojazdów wg schematu FHWA F.

4. Moduł do współpracy z dwiema pętlami indukcyjnymi oraz pojedynczym piezoelektrycznym czujnikiem nacisku rysunku 5.

System wyposażony w czujniki nacisku osi pozwala na pomiar nacisków dynamicznych poszczególnych osi oraz na estymację, na tej podstawie, ich nacisków statycznych oraz masy całkowitej pojazdu. Pomiar odbywa się podczas ruchu pojazdu z prędkością drogową. Systemy takie są nazywane systemami WIM od ich angielskiej nazwy Weigh-In-Motion.



Rys. 5. Para pętli indukcyjnych z pojedynczym piezoelektrycznym czujnikiem nacisku i moduł analogowy
Fig. 5. Dual loop system with single piezoelectric load sensor and analog signal unit

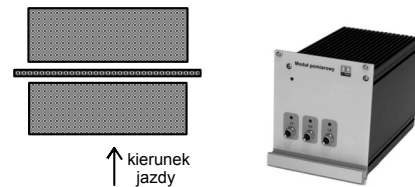
Mierzonymi parametrami są:

- czas przybycia pojazdu (z rozdzielczością 0.01 s),
- liczba pojazdów (w zadanym czasie),
- odstępów czasowych pomiędzy pojazdami (rozdzielczość 0.01 s),
- detekcja przyczepy,
- prędkość (błąd pomiaru w sensie odchylenia standardowego 1.5 %),
- długość pojazdu (błąd pomiaru w sensie odchylenia standardowego 2 %),
- liczba osi,
- odległości pomiędzy osiami (błąd pomiaru 2 %),
- klasyfikacja pojazdów wg schematu FHWA F,
- naciski osi (błąd pomiaru 20 – 30 % w zakresie prędkości od 30 do 80 km/h),
- masa całkowita pojazdu (błąd pomiaru 15 – 20 %).

5. Moduł do współpracy z dwiema pętlami indukcyjnymi oraz pojedynczym kwarcowym czujnikiem nacisku rysunku 6.

Kwarcowe czujniki nacisku charakteryzują się zdecydowanie lepszymi właściwościami metrologicznymi w porównaniu z czujnikami piezoelektrycznymi. Jednakże w systemach WIM wyposażonych w pojedynczy czujnik lub parę czujników nacisku o błędach ważenia pojazdu decyduje przede wszystkim poziom składowej dynamicznej nacisku, wywołanej pionowym wahaniami się pojazdu przejeżdżającego przez stanowisko pomiarowe oraz podskakiwaniem jego kół. Stąd „zysk” wynikający z zastosowania

tych czujników wydaje się mierny. Trzeba jednak pamiętać, że czułość czujników kwarcowych, w przeciwieństwie do czujników piezoelektrycznych nie zależy od temperatury. Pozwala to na istotne uproszczenie systemu pomiarowego.

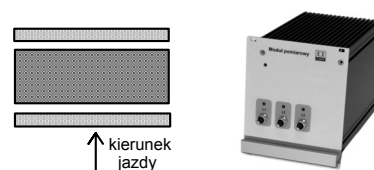


Rys. 6. Para pętli indukcyjnych z pojedynczym kwarcowym czujnikiem nacisku i moduł analogowy.
Fig. 6. Dual loop system with single quartz load sensor and analog signal unit

Wielkościami mierzonymi w systemie przedstawionym na rysunku 6 są:

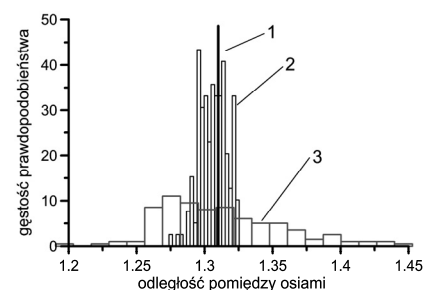
- czas przybycia pojazdu (z rozdzielczością 0.01 s),
- liczba pojazdów (w zadanym czasie),
- odstępów czasowych pomiędzy pojazdami (rozdzielczość 0.01 s),
- detekcja przyczepy,
- prędkość (błąd pomiaru w sensie odchylenia standardowego 1.5 %),
- długość pojazdu (błąd pomiaru w sensie odchylenia standardowego 2 %),
- liczba osi,
- odległości pomiędzy osiami (błąd pomiaru 2 %),
- klasyfikacja pojazdów wg schematu FHWA F,
- naciski osi (błąd pomiaru 15 – 25 % w zakresie prędkości do 80 km/h),
- masa całkowita pojazdu (błąd pomiaru 15 – 20 %).

6. Moduł do współpracy z trzema pętlami indukcyjnymi przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Układ trzech pętli indukcyjnych i moduł analogowy
Fig. 7. Triple loop system and analogue signal unit

Zastosowanie wąskich pętli indukcyjnych umożliwia detekcję osi pojazdu oraz pomiar ich wzajemnych odległości. System współpracujący z taką konfiguracją czujników pełni więc analogiczne funkcje jak system z piezoelektrycznymi detektorami osi przedstawiony na rysunku 9. Jego zaletą wynika z wielokrotnie niższej ceny detektora pętlowego w porównaniu z detektorem piezoelektrycznym. Z drugiej jednak strony dokładność pomiaru prędkości i tym samym odległości pomiędzy osiami jest niższa w systemie z detektorami pętlowymi (rysunek 8).

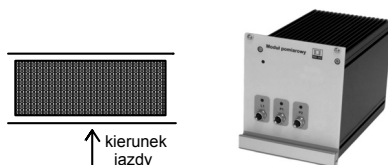


Rys. 8. Rozkład wyników pomiaru odległości pomiędzy osiami pojazdów.
1 – wartość rzeczywista, 2 – wyniki pomiarów w systemie z rysunku 9,
3 – wyniki pomiarów w systemie z rysunku 7
Fig. 8. Distribution of the axle distance measurement. 1 – true value,
2 – measurement results from system presented in Fig. 9,
3 – measurement results from system presented in Fig. 7

Wielkościami mierzonymi w systemie przedstawionym na rysunku 7 są:

- czas przybycia pojazdu (z rozdzielczością 0.01 s),
- liczba pojazdów (w zadanym czasie),
- odstępy czasowe pomiędzy pojazdami (rozdzielczość 0.01 s),
- detekcja przyczepy,
- prędkość (błąd pomiaru 7.5 %),
- długość pojazdu (błąd pomiaru 8 %),
- liczba osi (błąd pomiaru 9 %),
- odległości pomiędzy osiami (błąd pomiaru 10 %),
- klasyfikacja pojazdów wg schematu FHWA F.

7. Moduł do współpracy z pojedynczą pętlą indukcyjną i dwoma piezoelektrycznymi detektorami osi przedstawiono na rysunku 9.

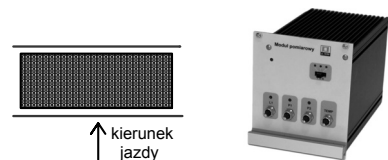


Rys. 9. Pętla indukcyjna z układem dwóch detektorów osi i moduł analogowy
Fig. 9. Single inductive loop with dual system of axle detectors and analog signal unit

Wielkościami mierzonymi w takim systemie są:

- czas przybycia pojazdu (z rozdzielczością 0.01 s),
- liczba pojazdów (w zadanym czasie),
- odstępy czasowe pomiędzy pojazdami (rozdzielczość 0.01 s),
- detekcja przyczepy,
- prędkość (błąd pomiaru < 1 km/h),
- długość pojazdu (błąd pomiaru w sensie odchylenia standardowego 2 %),
- liczba osi,
- odległości pomiędzy osiami (błąd pomiaru +/- 2.5 cm),
- klasyfikacja pojazdów wg schematu FHWA F.

8. Moduł do współpracy z pojedynczą pętlą indukcyjną i dwoma piezoelektrycznymi czujnikami nacisku osi przedstawiono na rysunku 10.



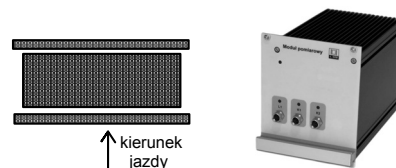
Rys. 10. Pętla indukcyjna z dwoma piezoelektrycznymi czujnikami nacisku i moduł analogowy
Fig. 10. Single inductive loop with dual system of the piezoelectric load sensors and analog signal unit

Jest to klasyczny system WIM stosowany na ogół do wstępnej detekcji pojazdów przeciążonych w strumieniu pojazdów.

Wielkościami mierzonymi są:

- czas przybycia pojazdu (z rozdzielczością 0.01 s),
- liczba pojazdów (w zadanym czasie),
- odstępy czasowe pomiędzy pojazdami (rozdzielczość 0.01 s),
- detekcja przyczepy,
- prędkość (błąd pomiaru < 1 km/h),
- długość pojazdu (błąd pomiaru w sensie odchylenia standardowego 2 %),
- liczba osi,
- odległości pomiędzy osiami (błąd pomiaru +/- 2.5 cm),
- klasyfikacja pojazdów wg schematu FHWA F,
- naciski osi (błąd pomiaru 15 – 20 %),
- masa całkowita pojazdu (błąd pomiaru 10 – 15 %).

9. Moduł do współpracy z pojedynczą pętlą indukcyjną i dwoma kwarcowymi czujnikami nacisku osi przedstawiono na rysunku 11.



Rys. 11. Pętla indukcyjna z dwoma kwarcowymi czujnikami nacisku i moduł analogowy
Fig. 11. Single inductive loop with dual system of the quartz load sensors and analog signal unit

Wielkościami mierzonymi w systemie przedstawionym na rysunku 11 są:

- czas przybycia pojazdu (z rozdzielczością 0.01 s),
- liczba pojazdów (w zadanym czasie),
- odstępy czasowe pomiędzy pojazdami (rozdzielczość 0.01 s),
- detekcja przyczepy,
- prędkość (błąd pomiaru < 1 km/h),
- długość pojazdu (błąd pomiaru w sensie odchylenia standardowego 2 %),
- liczba osi,
- odległości pomiędzy osiami (błąd pomiaru +/- 2.5 cm),
- klasyfikacja pojazdów wg schematu FHWA F,
- naciski osi (błąd pomiaru 10 – 15 %),
- masa całkowita pojazdu (błąd pomiaru 7 – 10 %).

3. Podsumowanie

Opracowany i zbudowany rekonfigurowalny system pomiaru parametrów ruchu drogowego poprzez swoją uniwersalność jest bardzo dobrym narzędziem pomiarowym nadającym się zarówno do długotrwałych pomiarów parametrów ruchu drogowego, jak też do pomiarów krótkookresowych realizowanych w ramach prac badawczych. Może być łatwo przenoszony pomiędzy różnymi stanowiskami pomiarowymi. Jego elastyczna struktura oraz możliwość współpracy z szerokim zbiorem czujników pomiarowych powodują, że jest on niezastąpiony w laboratoriach dydaktycznych. Zrealizowany projekt jest podsumowaniem wieloletniego dorobku naukowego i konstrukcyjnego zespołu wykonawców.

Tematyka pomiaru parametrów ruchu drogowego jest obecna w pracach badawczych prowadzonych w Katedrze Metrologii już od kilkunastu lat. W tym czasie zostało zrealizowanych pięć projektów badawczych finansowanych przez MNiSzW, w tym jeden projekt rozwojowy. Zaprojektowano i skonstruowano kilkadziesiąt systemów pomiarowych o różnym stopniu złożoności, współpracujących z różną liczbą i różnymi typami czujników pomiarowych i mierzących różne parametry.

Efektem prowadzonych badań są również: rozprawa habilitacyjna, dwie rozprawy doktorskie, 15 prac magisterskich, ponad 40 publikacji naukowych w tym wiele o zasięgu międzynarodowym. Poniżej zestawiono najnowsze publikacje z tego zakresu [1 – 5].

4. Literatura

- [1] Burnos, P., Gajda, J., Piwowar, P., Sroka, R., Stencel, M., Żegleń, T.: Accurate weighing of moving vehicles, *Metrology and Measurement Systems*, XIV (2007), nr 4, 507–516.
- [2] Gajda, J., Sroka, R., Żegleń, T.: Multisensor data fusion in the processes of weighing and classification of the moving vehicles, *Advances and challenges in multisensor data and information processing*, IOS Press, (2007).
- [3] Gajda, J., Sroka, R., Żegleń, T.: Accuracy analysis of WIM systems calibrated using pre-weighed vehicles method, *Metrology and Measurement Systems*, XIV (2007), nr 4, 517–527.
- [4] Gajda, J., Stencel, M., Sroka, R., Żegleń, T.: Multi-sensor weigh-in-motion system, *Proceedings of the International Conference on Heavy Vehicles*, J. Wiley & Sons, Paris, (2007), 181–188.
- [5] Burnos, P.: Auto-calibration and temperature correction of WIM systems, *Proceedings of the International Conference on Heavy Vehicles*, J. Wiley & Sons, Paris, (2007), 300–307.

otrzymano / received: 02.07.2010

przyjęto do druku / accepted: 02.08.2010

artykuł recenzowany