

Krzysztof WACH

## ZASTOSOWANIE NAWIGACJI SATELITARNEJ W BADANIACH DYNAMIKI POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH

**Streszczenie.** Dotychczas w badaniach dynamiki pojazdów samochodowych wykorzystywane były złożone tory pomiarowe, w skład których wchodziły różnego rodzaju urządzenia i czujniki. Rozwój systemów nawigacji satelitarnej umożliwia zastosowanie w badaniach pojazdów nowego typu aparatury. W niniejszym artykule pokrótce scharakteryzowano tradycyjny tor pomiarowy oraz omówiono nowoczesną aparaturę badawczą VBOX, opartą na odbiorniku nawigacji satelitarnej nowej generacji. Porównane zostały przebiegi charakterystycznych parametrów ruchu pojazdu, uzyskane za pomocą przedmiotowej aparatury i tradycyjnego toru pomiarowego.

## SATELLITE NAVIGATION APPLICATION IN THE STUDIES OF MOTOR VEHICLE DYNAMICS

**Summary.** So far in motor vehicles dynamics tests complex measurement chains, which included various types of devices and sensor, were used. The development of satellite navigation systems enables usage of apparatus of a new type in vehicle dynamic tests. In this paper a traditional measurement chain was characterized shortly and a modern VBOX apparatus, based on the new generation of satellite navigation receiver was discussed. The time dependences of characteristic vehicle motion parameters, obtained by VBOX apparatus and traditional measurement chain, were compared.

### 1. WPROWADZENIE

Właściwości jezdne pojazdów samochodowych określone są na podstawie wyników różnego rodzaju prób, z których do najważniejszych i najczęściej przeprowadzanych należą próby pojedynczej i podwójnej zmiany pasa ruchu [4, 7], badania w ustalonych stanach na torze kołowym [6, 3], próby hamowania czy intensywności rozpędzania pojazdu na poszczególnych biegach [5] itp. Podczas prób rejestrowane są przebiegi wielu parametrów, takich jak: prędkości wzdłużna i poprzeczna, działające na pojazd przyspieszenia, oraz prędkości kątowe względem poszczególnych osi układu współrzędnych, które pozwalają określić dynamiczne właściwości samochodu. W tym celu wykorzystywane są różnego rodzaju przyrządy i czujniki pomiarowe mocowane wewnątrz lub na zewnątrz pojazdu. Pomiar prędkości najczęściej wykonywany jest za pomocą mocowanej na zewnątrz pojazdu głowicy Correvit. Do pomiaru kątów przechyłu nadwozia, prędkości kątowych względem poszczególnych osi układu współrzędnych oraz przyspieszeń działających na nadwozie

pojazdu wykorzystuje się bloki pomiarowe wyposażone w czujniki przyspieszeń i żyroskopy. Do najbardziej rozpowszechnionych urządzeń tego typu należy blok pomiarowy amerykańskiej firmy Crossbow Technology Inc.. Ponadto, w pomiarach wykorzystywane są również dodatkowe czujniki i urządzenia pozwalające określić położenie elementów sterowania pojazdem.

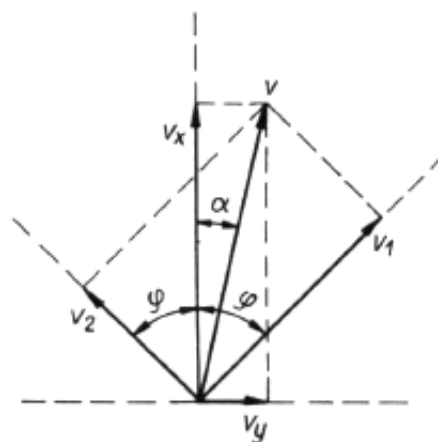
Badania z wykorzystaniem złożonego toru pomiarowego, wyposażonego w wyżej wymienione przyrządy, pozwalają w dokładny sposób określić charakterystyczne parametry ruchu samochodu, wymagają jednak znacznych nakładów finansowych, oprzyrządowanie pojazdu zajmuje sporo czasu, a montaż na zewnątrz pojazdu drogiego urządzenia pomiarowego, jak np. głowica Correvit, niesie ze sobą ryzyko ich uszkodzenia.

Rozwój systemów nawigacji satelitarnej spowodował pojawienie się możliwości wykorzystania opartych na nich urządzeń pomiarowych w badaniach ruchu pojazdów samochodowych. Urządzenia tego typu pozwalają na równie dokładny pomiar parametrów ruchu samochodu jak klasyczny tor pomiarowy, pozwalają jednak na znaczne uproszczenie procedury badawczej, dzięki czemu są znacznie wygodniejsze w użyciu. Przykładem tego typu urządzenia jest, omówiona w niniejszym artykule, aparatura badawcza VBOX angielskiej firmy Racelogic.

## 2. TRADYCYJNA METODA PRZEPROWADZANIA BADAŃ

Badania dynamiki pojazdów samochodowych w sposób tradycyjny przeprowadzane są za pomocą złożonych torów pomiarowych, w których skład wchodzi różnego typu urządzenia i czujniki.

Obecnie najczęściej wykorzystywanym w pomiarach prędkości pojazdu urządzeniem jest, działająca na zasadzie korelacyjno-optycznej, głowica Correvit [1]. Dostępne są trzy typy głowic: L, Q – do pomiaru odpowiednio prędkości wzdłużnej i poprzecznej, oraz H – do pomiaru wysokości. Ponadto, istnieją również głowice zintegrowane. Najpopularniejsza z nich to zintegrowana głowica typu LQ, pozwalająca na jednoczesny pomiar prędkości wzdłużnej i poprzecznej. W budowie głowicy wyróżniamy dwa zasadnicze układy: układ oświetlający jezdnię oraz układ optyczny. Strumień światła odbity od jezdni pada na dwa umieszczone pod kątem względem siebie rastry „grzebieniowe”, zbudowane z fotokomórek paskowych.



Rys. 1. Sposób wyznaczenia prędkości podłużnej i poprzecznej przez głowicę Correvit [1]

Fig. 1. The way of determination of longitudinal and lateral velocity of the car by Correvit head [1]

Na podstawie dwóch wzajemnie prostopadłych prędkości  $v_1$  i  $v_2$  wyznaczana jest prędkość wypadkowa pojazdu oraz jej składowe podłużna i poprzeczna:

$$|v| = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}, \quad (1)$$

$$v_x = (v_1 + v_2) \cos \varphi = (v_1 + v_2) \frac{1}{\sqrt{2}}, \quad (2)$$

$$v_y = (v_1 - v_2) \cos \varphi = (v_1 - v_2) \frac{1}{\sqrt{2}}, \quad (3)$$

gdzie:

$v$  – prędkość wypadkowa pojazdu [m/s];

$v_x$  – prędkość podłużna pojazdu [m/s];

$v_y$  – prędkość poprzeczna pojazdu [m/s];

$v_1, v_2$  – składowe prędkości  $v$  [m/s];

$\varphi$  – połowa kąta pomiędzy rastrami „grzebieniowymi”,  $\varphi = 45$  [°].

Na rys. 2 pokazano głowicę Correvit zamocowaną z tyłu pojazdu.



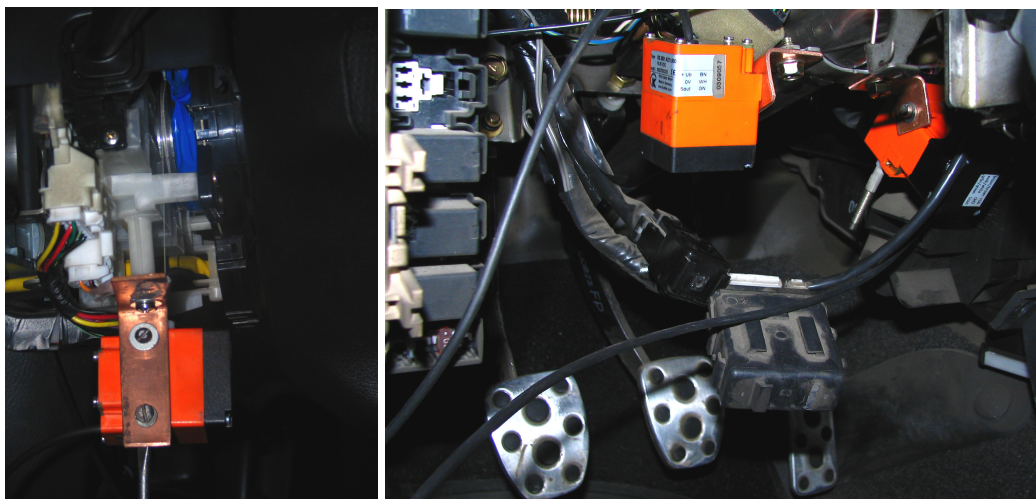
Rys. 2. Głowica Correvit S-CE typu LQ firmy Corrsys zamocowana z tyłu pojazdu  
Fig. 2. Corrsys Correvit S-CE head of the type LQ fastened at the back of the vehicle

Do pomiaru przyspieszeń pojazdu względem trzech prostopadłych osi układu współrzędnych oraz prędkości kątowych względem tych osi wykorzystywane są bloki pomiarowe wyposażone w żyroskopy oraz akcelerometry. Jedną z najbardziej znanych firm produkujących tego typu urządzenia jest amerykańska firma Crossbow Technology Inc. Obecna generacja urządzeń oparta jest na czujnikach MEMS (Micro-electromechanical Systems) i układach cyfrowego przetwarzania danych, co zapewnia dużą dokładność pomiarową. Na rys. 3 został przedstawiony blok pomiarowy Crossbow nowej generacji, wykorzystujący czujniki MEMS.



Rys. 3. Blok pomiarowy Crossbow z czujnikami MEMS  
Fig. 3. Crossbow measurement unit with MEMS sensors

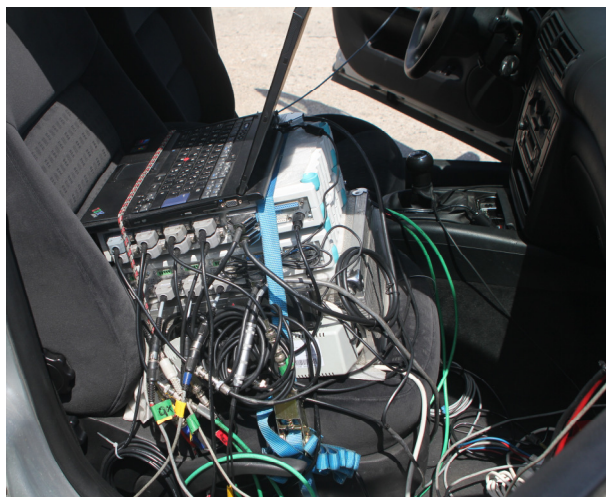
W torze pomiarowym często stosowane są również dodatkowe czujniki służące do określenia położenia elementów sterowania pojazdem. Przykładem tego typu urządzeń mogą być liniowe przetworniki przemieszczeń wyskalowane w ten sposób, aby mierzyć kąt obrotu koła kierownicy czy położenia pedałów hamulca bądź przyspiesznika. Wykorzystane do tego celu linkowe przetworniki przemieszczeń przedstawione zostały na rys. 4.



Rys. 4. Linkowe przetworniki przemieszczeń zamocowane do wału kierownicy oraz pedałów hamulca i przyspiesznika  
Fig. 4. Line displacement converters fastened to the steering shaft as well as the brake and acceleration pedals

W przypadku tradycyjnego toru pomiarowego sygnały z poszczególnych czujników i przyrządów pomiarowych przesyłane są do przetworników analogowo-cyfrowych – integralną częścią toru pomiarowego jest specjalnie oprogramowany komputer rejestrujący przebiegi mierzonych wielkości.

Zestaw przetworników analogowo-cyfrowych oraz przenośny komputer, na którym rejestrowane są mierzone wielkości, przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Zestaw przetworników analogowo- cyfrowych oraz rejestrujący przebiegi mierzonych wielkości, specjalnie oprogramowany komputer umieszczone na przednim siedzeniu pojazdu  
 Fig. 5. Set of analogue- digital converters and a recording data computer placed on the front seat of the car

### 3. APARATURA BADAWCZA WYKORZYSTUJĄCA SYSTEMY NAWIGACJI SATELITARNEJ

Przykładem aparatury pomiarowej nowego typu, której działanie oparte jest na systemach nawigacji satelitarnej, jest aparatura badawcza VBOX angielskiej firmy Racelogic. W jej skład wchodzi dwa zasadnicze elementy składowe: rejestrator danych oparty na odbiorniku nawigacji satelitarnej nowej generacji oraz bezwładnościowy blok pomiarowy IMU (Inertial Measurement Unit), za pomocą którego określane są wartości przyspieszeń oraz prędkości kątowe względem trzech osi kartezjańskiego układu współrzędnych.

Odbiornik nawigacji satelitarnej korzysta zarówno z sygnałów systemu nawigacyjnego GPS, jak i rosyjskiego systemu GLONASS, co skutkuje zwiększeniem liczby „śledzonych” przez urządzenie satelitów, zmniejszając ryzyko utraty sygnału podczas pracy urządzenia w otoczeniu różnego rodzaju przeszkód terenowych. Z uwagi na fakt, iż wspomniane systemy nawigacyjne pracują na nieco innych częstotliwościach, zastosowany algorytm obliczeniowy ma możliwość eliminacji większości błędów generowanych podczas określania pozycji obiektu.

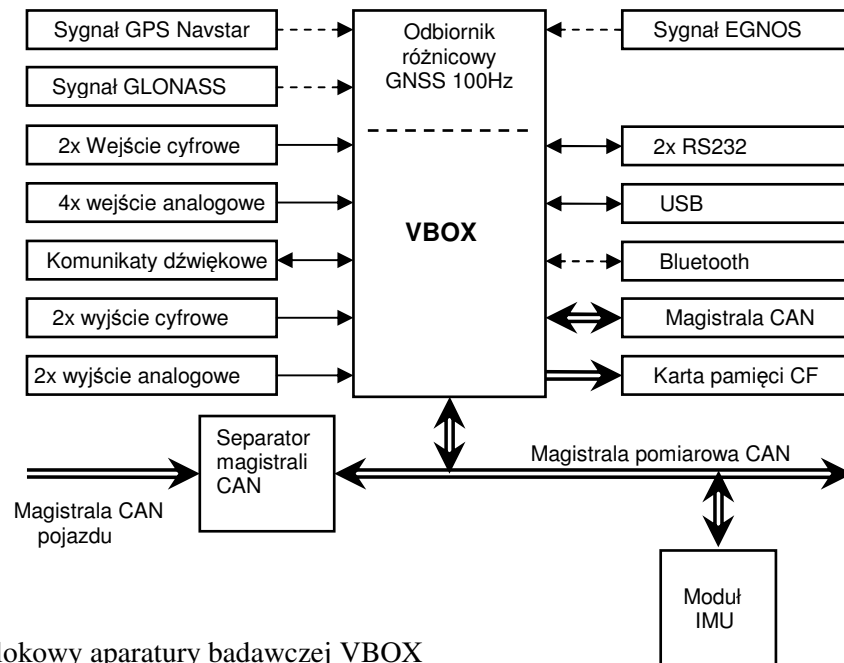
Istotną cechą przedmiotowej aparatury jest możliwość szczytywania sygnałów, takich jak między innymi: prędkość pojazdu, prędkości poszczególnych kół, procent nacisku na pedał przyspiesznika, kąt obrotu koła kierownicy, prędkość obrotowa silnika itp., bezpośrednio z magistrali CAN samochodu, co w znacznym stopniu ułatwia pomiary, pozwalając na rezygnację z dodatkowych, kosztownych, często kłopotliwych w montażu czujników zewnętrznych.

Integracja wyników pomiarów satelitarnych oraz wyników uzyskanych za pomocą bloku IMU umożliwia kompensację błędów losowych i chwilowych utrat sygnału satelitarnego, pozwalając na uzyskanie dokładnych, gładkich przebiegów mierzonych wielkości.

Aparatura VBOX umożliwia samodzielny pomiar charakterystycznych parametrów ruchu samochodu, takich jak między innymi: tor i prędkość jazdy, przyspieszenia i prędkości kątowe względem trzech osi układu współrzędnych itp., z częstotliwością próbkowania do 100 [Hz].

Na rys. 6 został przedstawiony schemat blokowy omawianej aparatury.





Rys. 6. Schemat blokowy aparatury badawczej VBOX  
 Fig. 6. Block diagram of the VBOX apparatus

Rysunek 7 przedstawia widok gotowej do użycia aparatury VBOX, zamontowanej w pojeździe.



Rys. 7. Aparatura badawcza VBOX zamontowana w pojeździe  
 Fig. 7. The VBOX apparatus mounted in the vehicle

W tabeli 1 przedstawiono podstawowe parametry techniczne aparatury VBOX.

Tabela 1

Zakresy pomiarowe oraz dokładność aparatury VBOX

<b>VBOX</b>		
<b>Parametr</b>	<b>Zakres</b>	<b>Dokładność</b>
Częstotliwość próbkowania	do 100 Hz	-
Pozycjonowanie	nieograniczony	do $\pm 3$ m bez RTK do $\pm 0,02$ m z RTK
Prędkość jazdy	0,1 – 1600 km/h	0,1 km/h
Kąt kierunku	$360^\circ$	$0,1^\circ$

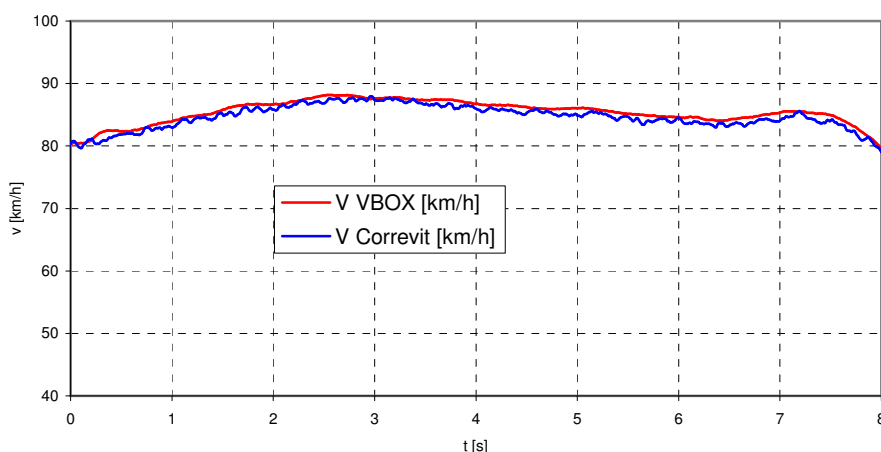
cd. tabeli 1

Przyspieszenia	20 g	0,5%
Napięciowe sygnały analogowe	$\pm 50$ V	24bit
Zasilanie	7 – 30V	-
Pobór mocy	5,5 W	-
<b>IMU</b>		
<b>Parametr</b>	<b>Zakres</b>	<b>Dokładność</b>
Prędkości kątowe	$\pm 150^\circ/\text{s}$	nieliniowość 0,1% rozd. $0,01^\circ/\text{s}$
Częstotliwość próbkowania prędkości kątowej	40 Hz	-
Przyspieszenia	$\pm 1,7$ g	$\pm 0,01$ g
Częst. próbkowania przyspieszenia	50 Hz	-
<b>CAN</b>		
Ilość kanałów	16	
Typ CAN	CAN 2.0A lub CAN 2.0B i kompat.	
Szybkość transmisji	250, 500 lub 1000 Kbit/s	

### 3.1. Badania walidacyjne aparatury VBOX

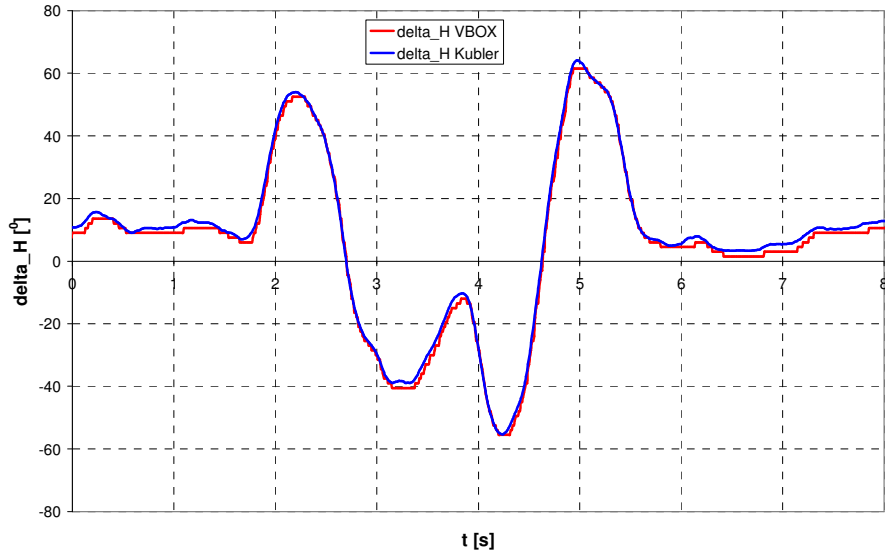
Przy współpracy z Instytutem Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych Politechniki Krakowskiej zostały przeprowadzone badania walidacyjne omawianej aparatury [2]. Polegały one na wykonaniu prób drogowych samochodu osobowego wraz z jednoczesną rejestracją charakterystycznych parametrów ruchu z wykorzystaniem przedmiotowej aparatury oraz klasycznego toru pomiarowego, złożonego z tradycyjnych urządzeń badawczych. Badania przeprowadzono zgodnie z normą ISO/TR 3888 – Road vehicles – Test procedure for a severe lane-change manoeuvre [4].

Na poniższych wykresach przedstawione zostały przykładowe przebiegi parametrów opisujących ruch samochodu, uzyskane podczas badań walidacyjnych.



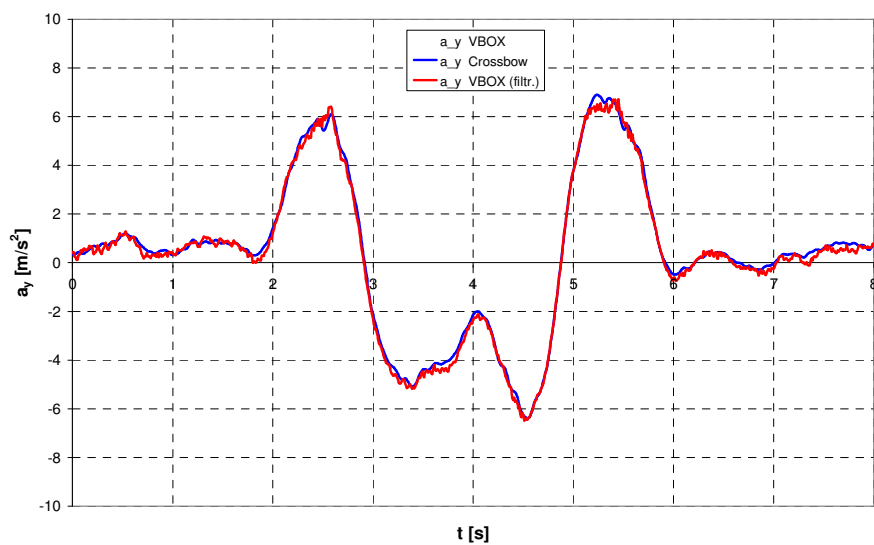
Rys. 8. Przebiegi czasowe prędkości wzdłużnej pojazdu: kolor niebieski – przebieg uzyskany za pomocą tradycyjnego toru pomiarowego, kolor czerwony – przebieg uzyskany za pomocą aparatury VBOX

Fig. 8. Dependences of longitudinal velocity of the vehicle on time: the colour blue – obtained with the traditional measurement chain, the colour red – obtained with VBOX apparatus



Rys. 9. Przebiegi czasowe kąta obrotu koła kierownicy: kolor niebieski – przebieg uzyskany za pomocą tradycyjnego toru pomiarowego, kolor czerwony – przebieg odczytany z magistrali CAN samochodu za pomocą aparatury VBOX

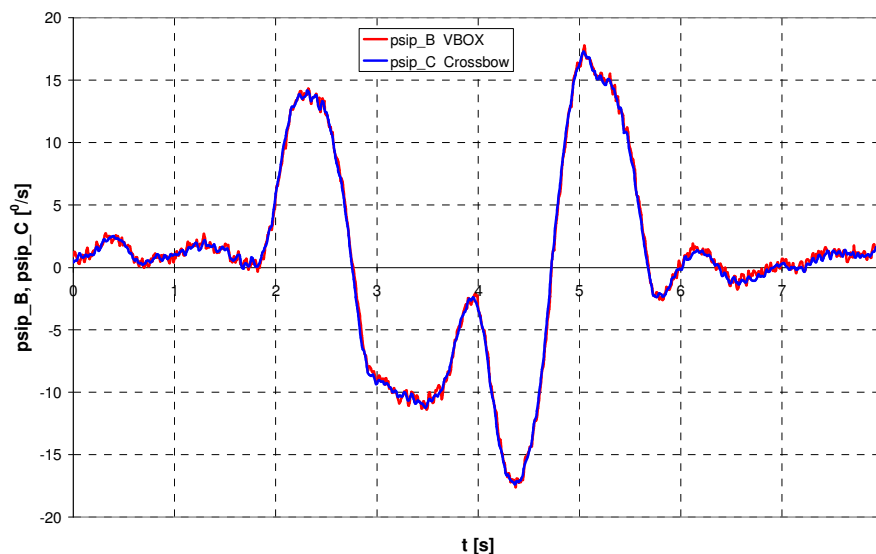
Fig. 9. Dependences of steering wheel turn angle on time: the colour blue – obtained with the traditional measurement chain, the colour red – read from the vehicle CAN bus using VBOX apparatus



Rys. 10. Przebiegi czasowe przyspieszenia poprzecznego: kolor niebieski – przebieg uzyskany za pomocą tradycyjnego toru pomiarowego (niefiltrowany), kolor czerwony – filtrowany przebieg uzyskany za pomocą aparatury VBOX (filtrowany)

Fig. 10. Dependences of lateral acceleration on time: the colour blue – obtained with the traditional measurement chain (unfiltered), the colour red – obtained with VBOX apparatus (filtered)





Rys. 11. Przebiegi czasowe prędkości odchylenia: kolor niebieski – przebieg uzyskany za pomocą tradycyjnego toru pomiarowego, kolor czerwony – przebieg uzyskany za pomocą aparatury VBOX

Fig. 11. Dependences of yaw speed on time: the colour blue – obtained with the traditional measurement chain, the colour red – obtained with VBOX apparatus

#### 4. PODSUMOWANIE

Rozwój technologii nawigacji satelitarnej umożliwił powstanie nowego rodzaju aparatury pomiarowej, pozwalającej w stosunkowo prosty i szybki sposób określać dynamiczne parametry ruchu pojazdów samochodowych. Urządzenia, których działanie oparte jest na systemach nawigacyjnych, do których należy omawiana aparatura badawcza VBOX, dają możliwość autonomicznego pomiaru prędkości jazdy, przyspieszeń, prędkości kątowych itp., bez konieczności skomplikowanego montażu wielu urządzeń pomiarowych, których sygnały muszą być przesyłane do dodatkowych przetworników. W przypadku aparatury VBOX próbkowanie odbywa się z częstotliwością do 100 [HZ], która jest wystarczająca w badaniach dynamiki pojazdów samochodowych.

Przeprowadzone badania walidacyjne pokazują, że aparatura badawcza nowego typu umożliwia uzyskanie przebiegów charakterystycznych parametrów ruchu samochodu zgodnych zarówno ilościowo, jak i jakościowo z przebiegami wyznaczonymi za pomocą tradycyjnego toru pomiarowego.

Dzięki możliwości odczytywania wielu parametrów bezpośrednio z magistrali CAN samochodu, aparatura pozwala w szybki sposób uzyskać informacje o wielu istotnych parametrach ruchu pojazdu, bez konieczności montowania, często kosztownych, czujników zewnętrznych, co znacznie ogranicza koszty i skraca czas przygotowywania pojazdu do badań.

Omawiana w niniejszym artykule aparatura znajduje się na wyposażeniu laboratorium badawczego firmy Cyborg Idea SC z Krakowa i może być wykorzystywana w ramach współpracy ze wspomnianą firmą.

**Bibliografia**

1. Orzełowski S.: Eksperymentalne badania samochodów i ich zespołów. WNT, Warszawa 1995.
2. Sprawozdanie z badań „Weryfikacja aparatury badawczej Zleceniodawcy na podstawie wyników badań drogowych samochodu osobowego w zakresie podwójnej zmiany pasa ruchu wg normy ISO 3888-2”, uzyskanych przy wykorzystaniu aparatury Katedry Budowy Pojazdów Samochodowych PK.
3. ISO 4138-1982, Road Vehicles Steady State Circular Test Procedure.
4. ISO/TR-3888, Road vehicles – Test procedure for a severe lane-change manoeuvre.
5. PN-92/S-77500, Pomiary prędkości i intensywności rozpędzania.
6. PN-87/S-47350, Samochody osobowe – Metoda badań w ustalonych stanach ruchu na torze kołowym.
7. Czech P., Janczur R., Świder P., Wojnar G.: Problemy prawne i techniczne związane z manewrem omijania przeszkody w aspekcie wypadków drogowych. III Międzynarodowa Konferencja „Problemy Transportu”, Katowice – Tarnowskie Góry, 20 – 22 lipca 2011.
8. [www.racelogic.co.uk](http://www.racelogic.co.uk).

Recenzent: Dr hab. inż. Witold Grzeżożek, prof. nzw. Politechniki Krakowskiej