

**Tomasz Smarsz<sup>1</sup>, Bartosz Smarsz<sup>2</sup>**

**UNIWERSALNA PLATFORMA POMIAROWO-SYMULACYJNA DO  
EKSPERYMENTALNYCH BADAŃ DYNAMIKI POJAZDU  
SAMOCHODOWEGO**

**1. Wstęp**

Rosnąca produkcja pojazdów samochodowych i zwiększające się wobec nich wymagania dotyczące bezpieczeństwa oraz komfortu jazdy stymulują ciągły wzrost znaczenia jak i zakres badań dynamiki pojazdu. Badania eksperymentalne dynamiki to z reguły złożony proces, w którym wyróżnić można następujących 5 etapów.

1. Określenie celu badań ( zdefiniowanie zadań).
2. Wybór zbioru wielkości fizycznych opisujących badane zjawisko, a przede wszystkim ich reprezentacji w formie liczb czy funkcji.
3. Przygotowanie programu pomiarów.
4. Wybór i kompletacja łańcucha pomiarowego.
5. Analiza i weryfikacja uzyskanych danych łącznie z walidacją przyjętego programu badań.

Należy podkreślić, że największe rezerwy związane z optymalizacją realizacji badań i szybkiego wdrożenia ich wyników znajdują się w trzech ostatnich etapach.

Dla badań eksperymentalnych dynamiki szczególnie istotna jest możliwość pomiaru zbioru wielkości fizycznych charakteryzujących wymuszenie jak i zbioru odpowiedzi układu.

Analiza dostępnych na rynku czujników i urządzeń pomiarowych [1,2,3,4] oraz ponad 20 letnia współpraca z firmą KISTLER Automotive Groupe ( dawniej Corrsys – Datron) oraz kontaktów z wieloma firmami działającymi w obszarze dynamiki pojazdu ( OxTS-Oxford Technical Solutions, Race Technology itp.), skłaniają do stwierdzenia, że zarówno dostępność pomiarowa oraz spektrum wielkości fizycznych, jaki i precyzja ich pomiaru są w pełni zadawalające z punktu widzenia badań dynamiki pojazdu samochodowego. Natomiast bardzo istotnym ograniczeniem jest wysoki koszt takich zestawów i systemów pomiarowych, których wykorzystanie na skalę przemysłową ( seryjna produkcja pojazdów samochodowych) jest obecnie całkowicie nieopłacalna.

Taka sytuacja stymuluje poszukiwania innych zdecydowanie efektywniejszych, pod względem finansowym, metod wyznaczania parametrów dynamiki pojazdu samochodowego i to głównie w celu zapewnienia, a przede wszystkim zwiększenia poziomu bezpieczeństwa użytkowników pojazdu. Działania te koncentrują się na poszukiwaniu głównie kinematycznych parametrów dynamiki przy wykorzystaniu platform INS/GPS. Tutaj wyróżnić można dwa trendy.

1. Testowanie coraz tańszych czujników np. GPS [5] lub akcelerometrów w układach INS przy jednoczesnym doskonaleniu metod usuwania zakłóceń [6] i to zarówno nisko jak i wysoko częstotliwościowych szumów zredukowanych odpowiednio filtrami Kalmana [7] oraz metodami filtracji wstępnej oraz metodami odszumiania [8,9] .

<sup>1</sup> dr inż. Tomasz Smarsz TS WIND, ul. Szkolna 96, 62-002 Suchy Las, e-mail: biuro@ts-wind.pl

<sup>2</sup> mgr inż. Bartosz Smarsz TS WIND, ul. Szkolna 96, 62-002 Suchy Las, e-mail: biuro@ts-wind.pl

2. Wyznaczania parametrów kinematycznych, których nie można zmierzyć w tym układzie bezpośrednio np. kąt poślizgu bocznego pojazdu [7,10,11,].

Reasumując należy podkreślić, że w świetle rosnących wymagań końcowego odbiorcy wyników opisanych działań, jakim jest przemysł samochodowy, a dotyczących aspektu: finansowego (niski koszt), technicznego (odpowiednio wysoka dokładność niezbędna w systemach kontroli) oraz czasowego (relatywnie krótki okres wdrożenia), przedstawione kierunki wskazują łącznie na potrzebę znalezienia w sferze badań eksperymentalnych odpowiedniego narzędzia, które wykorzysta również potencjał zawarty w możliwości efektywnego wsparcia 3 etapów badań eksperymentalnych dynamiki, które wymieniono na wstępie.

W artykule przedstawiono koncepcję takiego narzędzia w formie platformy pomiarowo – symulacyjnej, wskazując jednocześnie na możliwość jej skonfigurowania na bazie dostępnych obecnie urządzeń.

## **2. Platforma pomiarowo-symulacyjna**

### **2.1. Wymagania stawiane platformie**

Koncepcja przedmiotowej platformy powstała w wyniku wieloletniej współpracy autora z firmami z obszaru badań drogowych pojazdów samochodowych (głównie dynamiki pojazdu), o której wspomniano na wstępie. Zainspirowana została między innymi dwoma faktami.

I. Brakiem uniwersalności dostępnych narzędzi rozumianej wielowymiarowo, jako możliwości:

- wykonania zdecydowanej większości badań z zakresu dynamiki pojazdu w powiązaniu z innymi zagadnieniami np. z zakresu wytrzymałości, drgań i hałasu itp.,
- nieograniczonej rozbudowy toru w aspekcie liczby kanałów o różnych zakresach częstotliwości rejestrowanych współbieżnie zjawisk z zapewnieniem pełnej synchronizacji w czasie,
- efektywnego wspierania rejestracji sygnałów pomiarowych poprzez tworzenie kanałów wirtualnych z rozbudowaną biblioteką procedur matematycznych nie tylko do analizy i weryfikacji procesu pomiarowego, ale także do sterowania, modelowania i walidacji samej metody badawczej czy urządzenia,
- skutecznej aktualizacji oprogramowania, które zapewnia pełną kompatybilność z oprogramowaniem dotychczas wykorzystywanym – problem aktualizacji oprogramowania na przestrzeni lat np. z możliwością wyboru aktualnej lub „starej” wersji okien dialogowych.

II. Niedostatecznym poziomem modułowości, co ogranicza, a wręcz uniemożliwia prowadzenie zarówno zcentralizowanych jak i rozproszonych pomiarów.

W tym miejscu należy podkreślić, że ze względów finansowych oraz ograniczeń czasowych poszukuje się systemów zapewniających szybką konwersję zestawu pomiarowego z jednej opcji w drugą (czas kilkunastu sekund do kilku minut).

Opisane ograniczenia stanowią jednocześnie zestaw podstawowych wymagań, jakie musi spełniać proponowana platforma pomiarowo – symulacyjna.

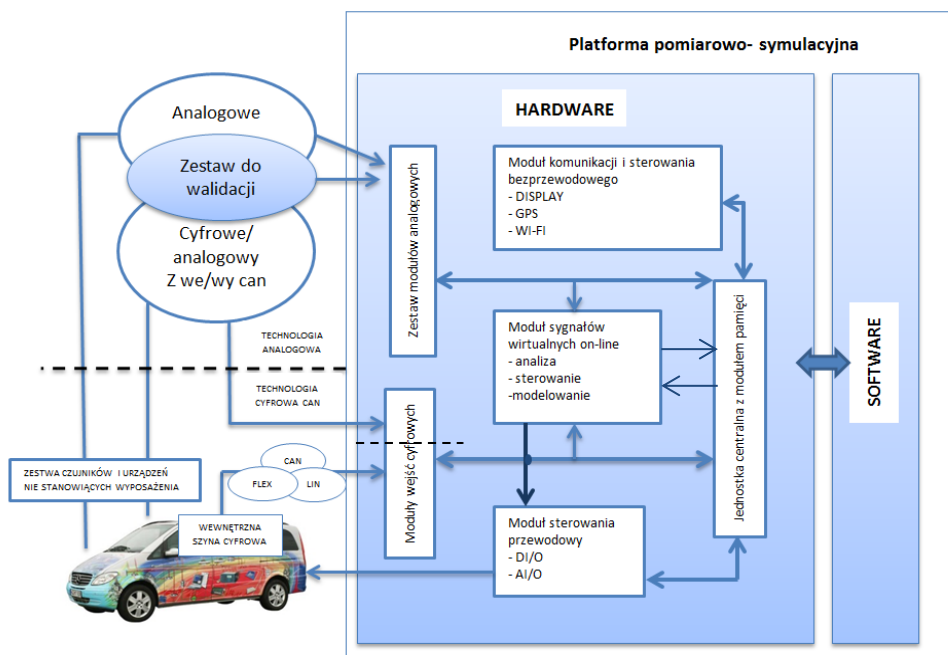
### **2.2. Koncepcja platformy pomiarowo – symulacyjnej**

Schemat funkcjonalny bloku aparaturowego przedstawiono na rysunku 1.

W bloku tym istotnym elementem jest moduł generowania sygnałów wirtualnych w trybie on – line tj. współbieżnie z bezpośrednio mierzonymi sygnałami. Pełni on funkcje kontrolne oraz walidacyjne poprzez generowanie wielkości progowych lub funkcji odniesienia, czy też funkcji weryfikujących proces pomiarowy np. w dziedzinie

częstotliwości (analiza widmowa). Warto również podkreślić jego wykorzystanie do modelowania matematycznego, który w istotny sposób wspiera proces badawczy, a prawie wyłącznie jest realizowany w trybie off – line.

Rozbudowany blok oprogramowania operacyjnego zapewnia nie tylko zaprogramowanie i pełną kontrolę procesu pomiarowego, jego weryfikację oraz natychmiastowe przedstawienie wyników w formie raportu z badań, ale także posiada możliwość komunikacji poprzez moduł interfejsów z innymi systemami pomiarowymi w celu importu lub eksportu danych lub symulacji cyfrowej nawet rozbudowanych modeli matematycznych procesu.



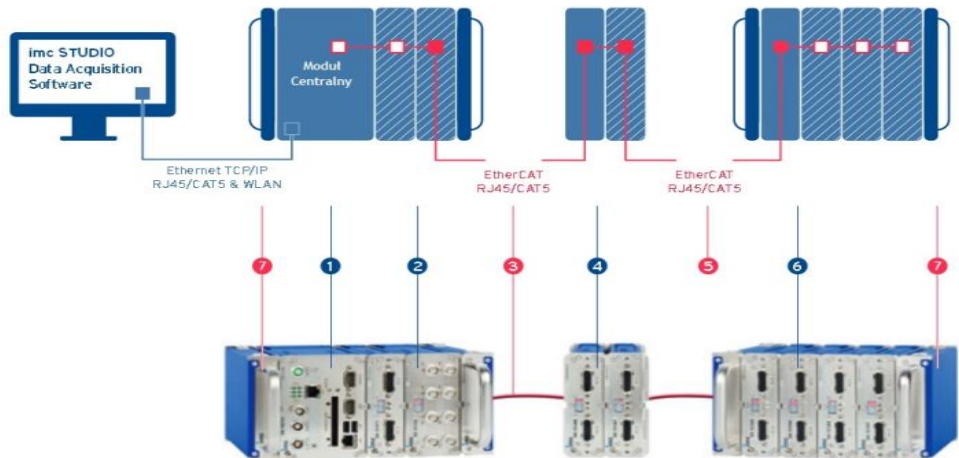
Rys. 1. Schemat funkcjonalny bloku aparaturowego platformy pomiarowo – symulacyjnej

### 2.3. Konfiguracja platformy na bazie dostępnej aparatury pomiarowej i oprogramowania.

Analiza dostępnej aparatury i oprogramowania w świetle wymagań przedyskutowanych w poprzednim punkcie skłania do poszukiwania najefektywniejszych rozwiązań wśród firm posiadających rozwiązania uniwersalne, ale mające doświadczenia w przemyśle samochodowym, a przede wszystkim w badaniach dynamiki pojazdu samochodowego. Wyłączając grupę zaawansowanych, ale bardzo specjalistycznych rozwiązań [np.3,12,13] skoncentrowano się na dwóch rodzinach stacji akwizycji danych. Zdecydowanie największą liczbę wymagań spełniają stacje Genesis[14] oraz CRONOS [15], wśród których najoptymalniejszym rozwiązaniem jest stacja akwizycji danych imc CRONOSflex.

Stację imc CRONOSflex doskonale dopasowaną do pomiarów zcentralizowanych jak i rozproszonych w przestrzeni przedstawiono na rysunku 2.

Nie posiada ona typowej, dla zdecydowanej większości konkurencyjnych urządzeń, obudowy w formie stelaża. Poszczególne moduły pomiarowe pomiędzy sobą, a także z modułem centralnym sprzęgane są lub rozdzielane w zależności od potrzeb przy pomocy mechanizmu wpinającego ( tzw. click mechanism), który zapewnia zarówno połączenie mechaniczne jak i elektryczne. Współbieżna rejestracja sygnałów może być realizowana z maksymalną prędkością 2000KS/s dla systemu i do 100KS/s na kanał.



**1. Moduł centralny imc CRONOSflex 2. Moduły pomiarowe „wpinane” do centralnego 3. Rozproszenie modułów do 100m, połączonych kablem sieciowym CAT5 4. Moduły rozmieszczone wg potrzeb 5. Opcjonalna łączność światłowodowa 6. Rozproszone moduły pomiarowe zsynchronizowane za pomocą jednego kabla 7. Zasilanie bateryjne w uchwytach**

Rys. 2. Stacja imc CRONOSflex dla zcentralizowanych i rozproszonych pomiarów.

Centralny moduł stacji stanowiący serce systemu zapewnia między innymi:

- automatyczne konfigurowanie toru pomiarowego i interaktywną rejestrację danych – (połączenie z PC -Ethernet TCP/IP, między modułami EtherCAT),
- gromadzenie danych i informowanie o czasie i pozycji – GPS,
- zdalną kontrolę systemu: rozpoczęcie i zakończenie pomiaru, zdalne przesyłanie danych, itp.,
- tworzenie kanałów wirtualnych– imc Online FAMOS itp.

Efektywne wykorzystanie wszystkich możliwości aparaturowych stacji imc CRONOSflex, a przede wszystkim zapewnienie ciągłej kompatybilności utworzonego toru pomiarowego niezależnie od jego zakresu funkcjonalnego, stawia przed oprogramowaniem bardzo wysokie wymagania. Bez wątplenia takie wymagania spełnia rozbudowywany i modyfikowany od ponad 2 dekad pakiet oprogramowania imc STUDIO.

Imc Studio to modułowy i uniwersalny system operacyjny sprzęgający wiele oddzielnych narzędzi w jedno całkowicie zintegrowane środowisko pomiarowe. Narzędzie to pozwala użytkownikowi na poświęcenie porównywalnego czasu na przygotowanie zarówno prostych testów jak i rozbudowanego cyklu pomiarowego.

Strukturę imc STUDIO z najistotniejszymi modułami funkcjonalnymi pogrupowanymi w trzy podstawowe pakiety o różnym zakresie funkcjonalnym ( Standard- Professional- Developer) przedstawiono na rysunku 3. Wynika z niego również, że imc STUDIO zintegrowane jest z hardwarowym modułem kanałów wirtualnych imc Online FAMOS ( biblioteka 100 funkcji) oraz z systemem imc FAMOS do pełnej analizy sygnałów w trybie off-line ( biblioteka ponad 360 funkcji i procedur) do analizy sygnałów zarówno zdeterminowanych jak i losowych w dziedzinie czasu, amplitudy , częstotliwości oraz klasyfikowania sygnału (np. badania zmęczenia).

### 3. Przykłady zastosowania platformy pomiarowo-symulacyjnej

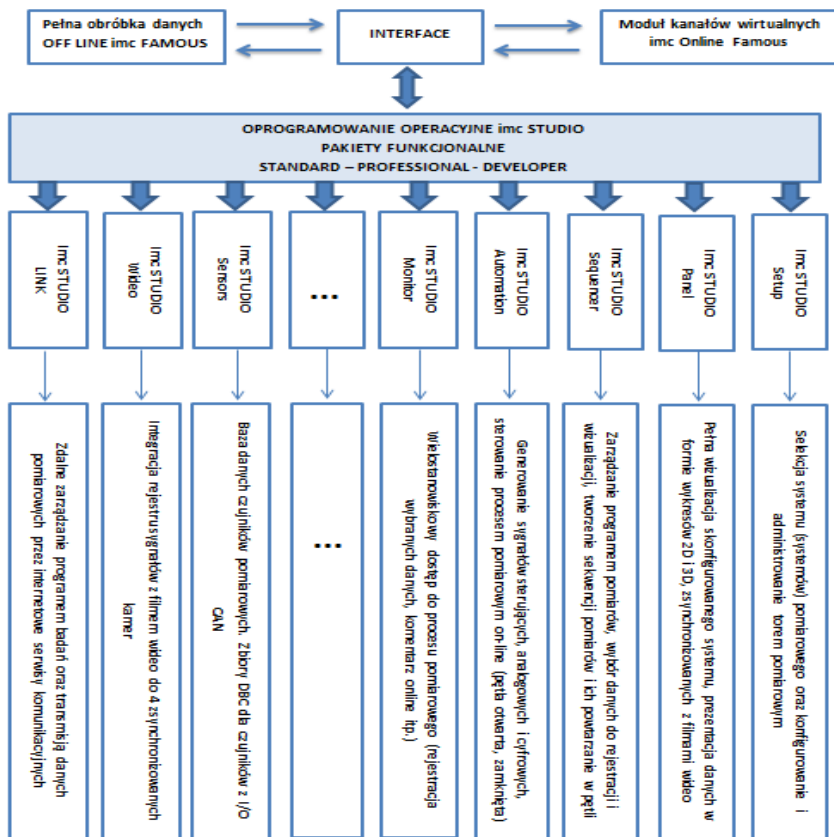
Dzięki przedstawionym zaletom platforma jest nie tylko doskonałym narzędziem w szybkim organizowaniu badań eksperymentalnych niezależnie od wielkości toru pomiarowego i celu badań , ale także pozwala na szybką rekonfigurację toru i zakresu badań nie tylko dynamiki pojazdu samochodowego .

Przykładem może być platforma, przygotowana do kompleksowych badań dynamiki ciężkiego pojazdu ciężarowego, której jeden z paneli pomiarowych przedstawiono na rysunku 4. Na panelu zwizualizowano przebieg 6 sygnałów dynamicznych ( między innymi wykresy sił poprzecznych na kole lewym i prawym ) w odniesieniu do miejsca pojazdu na torze pomiarowym ( sygnał GPS), które rejestrowano wspólnie z filmem video. Podkreślić należy, że badania dynamiki pojazdu były jednym z aspektów kompleksowych badań tego pojazdu. W dalszej kolejności rozszerzono zakres o badania między innymi komfortu jazdy i wpływu pojazdu na otoczenie ( drgania i hałas wewnątrz i na zewnątrz pojazdu), wytrzymałości doraźnej i zmęczeniowej wybranych podzespołów i elementów itd., poprzez dołączenie kolejnych sześciu platform imc CRONOSflex W ten sposób powstała zsynchronizowana w czasie i zdecentralizowana konfiguracja mega platformy do kompleksowych badań pojazdu.

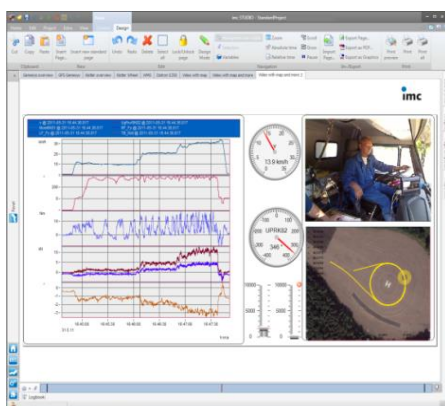
Skrajnie odmiennym przykładem ze względu na zakres i zaangażowanie aparatury pomiarowej może być przykład walidacji optycznego czujnika CORREVIT, a właściwie weryfikacji nie samego czujnika, ale wyboru nastawy czasu filtracji sygnału. Można to wykonać przy wykorzystaniu jednej modułu centralnego imc CRONOSflex oraz 3 czujników CORREVIT. Przykładowy panel gotowy do zamieszczenia w raporcie przedstawiono na rysunku 5.

Wpływ wybranego czasu filtracji ma istotne znaczenie na uzyskane wyniki, bowiem zwiększający się czas zwiększa błąd drogi hamowania. I tak dla czasu filtracji  $t_{fil}$  8ms, 128ms i 512 ms uzyskano odpowiednio błąd 0.1 m , 1.99m ( 4%) 8.1m ( 16,3%) przy rzeczywistej drodze hamowania 49,05m i wyznaczonym średnim opóźnieniu dla przedziału prędkości od 80% do 10% prędkości początkowej  $MDFF = 9m/s^2$  (zgodnie z regulaminem 13ECE).

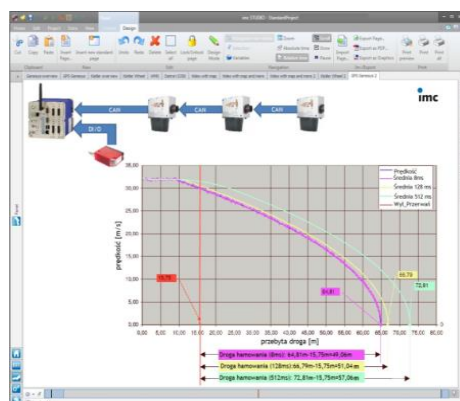
Tego typu testy mają bardzo istotne znaczenie dla celów walidacji wdrażanych do systemów kontroli pojazdu nowych czujników lub urządzeń pomiarowych.



Rys. 3. Struktura funkcjonalna oprogramowania imc STUDIO



Rys. 4. Panel do wizualizacji i analizy wybranych danych- badanie pojazdu ciężarowego



Rys. 5. Wpływ czasu filtracji na drogę hamowania. Panel wizualizacji danych

#### 4. Podsumowanie

Przedstawiona koncepcja platformy pomiarowo - symulacyjnej, a przede wszystkim jej egzemplifikacja w obszarze aparatury i oprogramowania jest obecnie jedynym tak uniwersalnym, modułowym i elastycznym narzędziem nie tylko do badania dynamiki, ale również do wielokierunkowego badania pojazdu.

Narzędzie to w zasadniczy sposób optymalizuje część czasochłonnych etapów procesu badawczego ( program badań, kompletacja toru, analiza i weryfikacja danych) i w ten sposób pozwala na poświęcenie zdecydowanie większej ilości czasu na poszukiwanie nowych problemów badawczych.

Doskonalenie tego narzędzia wymaga kontynuowania wielokierunkowych działań, a przede wszystkim: zbierania i efektywnego wykorzystywania informacji od użytkowników, śledzenie tendencji i kierunków rozwoju w danym obszarze badań i stosowania najnowszych możliwych do wdrożenia rozwiązań z obszaru techniki pomiarowej, transmisji i obróbki danych pomiarowych.

#### Literatura

[1] <http://corrsys-datron.com>

[2] <http://kistler.com>

[3] <http://oxts.com>

[4] <http://ts-wind.pl>

[5] Pokorski J., Sar H., Fundowicz P., Reński A.: Badania porównawcze skuteczności hamowania z wykorzystaniem odbiornika nawigacji satelitarnej GPS i czujnika korelacyjnego CORREVIT –L, Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej, 5 (96) 2013.

[6] Randle J.S., Horton H.A.: Low cost navigation using micro-machined technology, In proceedings Of IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems ITSC Boston, MA,1997 ( p. 1064-1067).

[7] Ryu J.: State and Parameter Estimation for Vehicle Dynamics Control Using GPS, Dissertation, Department of Mechanical Engineering of Stanford University, December 2004.

[8] Ding W., Wang J.: Vehicle Dynamics Based De-Noising for GPS/INS Integration, IGNS Symposium 2007, University of New South Wales, Sydney, Australia 4-6.12.2007.

[9] Grejner- Brzezińska, Torh C., Yi Y.: On improving navigation accuracy of GPS/INS systems, Photogrammetric engineering & remote sensing, 71 (2) 2005 p.377-389.

[10]Ayoubi M., Ruck G.: The Electro-mechanical Steering System of BMWZ4, Fahrwerktechnik Tagung, Munich, Germany 2003.

[11]Beiker S.A., Gaubatz K.H., Rock K.L. Gerdes J.Ch.: GPS Augmented Vehicle Dynamics Control, SAE International 2006-01-1275.

[12]<http://dewetron.com>

[13]<http://imar-navigation.com>

[14]<http://hbm.com>

[15]<http://imc-berlin.de>

## **Streszczenie**

W artykule przedstawiono niektóre tendencje w badaniach dynamiki pojazdu samochodowego wskazując jednocześnie na potrzebę stworzenia odpowiedniego narzędzia do badań eksperymentalnych, jakim jest platforma pomiarowo – symulacyjna. Zaprezentowano koncepcję platformy z listą wymagań, dotyczących między innymi obszaru generowania kanałów wirtualnych do celów analizy i symulacji on-line oraz walidacji on-line metod pomiarowych i urządzeń pomiarowych. W świetle przedstawionych wymagań przedyskutowano dostępne na rynku rozwiązania w obszarze aparatury oraz oprogramowania wybierając, jako centralny element platformy, stację akwizycji danych CRONOSflex wraz z oprogramowaniem imc STUDIO. Niektóre walory platformy pokazano na dwóch przykładach jej zastosowania o diametralnie różnym celu i zakresie.

**Słowa kluczowe:** dynamika pojazdów, platforma pomiarowo-symulacyjna, kanały wirtualne, walidacja.

## VERSATILE MEASUREMENT & SIMULATION PLATFORM FOR EXPERIMENTAL RESEARCHES OF A MOTOR VEHICLE DYNAMICS

### **Abstract**

In the paper some trends in research of a motor vehicle dynamics are presented while pointing to the need for creating suitable tool for experimental researches which is measurement & simulation platform. Idea of the platform together with the list of requirements to meet are presented and concerning, among other areas, of direct measurements, virtual channels generation for on-line analysis and simulation purposes and on – line validation of measurement methods and measuring devices. In the light of presented requirements the commercially available solutions from the area of hardware and software are discussed, selecting data acquisition station CRONOS*flex* with imc STUDIO software as the central element of the platform. Some advantages of the platform concerning its versatility and modularity are shown in two examples of practical uses of radically different purpose and scope.

**Keywords:** motor vehicle dynamics, measurement & simulation platform, virtual channels, validation..