

KOZIOŁ Stanisław¹
 POKORSKI Janusz²
 ZBROWSKI Andrzej³

Koncepcja systemu technicznego do badań właściwości jezdnych pojazdów pożarniczych

Badania samochodów, stateczność i kierowność pojazdu, dynamika ruchu samochodu, układ pomiarowy, czujniki do badań dynamicznych

Streszczenie

W artykule przedstawiono koncepcję modułowego systemu badawczego przeznaczonego do badania właściwości jezdnych samochodów pożarniczych charakteryzujących się wysoko położonym środkiem masy. System składa się z zestawu czujników do pomiaru parametrów ruchu pojazdu podczas jazdy, elektronicznego układu pomiarowo-sterującego i dedykowanego oprogramowania komputerowego. Uzyskiwane wyniki pomiarów charakteryzujące zachowanie samochodu w ruchu podczas standardowych testów drogowych pozwalają na ocenę jego bezpieczeństwa i przydatności do zastosowań specjalnych.

THE CONCEPT OF THE TECHNICAL SYSTEM FOR TESTING THE DRIVING PROPERTIES OF THE FIRE TRUCKS

Abstract

The article presents the concept of the modular system for testing the driving properties of the fire trucks that are characterised with high centre of mass. The system consists of the set of sensors for measuring the driving parameters on the move, electronic system for control and measurement and dedicated computer software. The measurements gathered characterise the behaviour of the vehicle in movement during standard road tests and allow assessment of the safety of the vehicle and its usability for the special tasks.

1. WPROWADZENIE

Pojazdy straży pożarnej i innych służb ratowniczych wypełniają swoje zadania w czasie różnorodnych zdarzeń, sytuacji niebezpiecznych, czy klęsk żywiołowych. Powinny wykazywać zatem bardzo dobre właściwości ruchowe nie tylko na drogach dobrej jakości, ale także drogach zniszczonych lub zalanych wodą oraz bezpiecznie pokonywać niektóre przeszkody terenowe i drogowe.

Zadania wykonywane przez pojazdy służb ratowniczych i gaśniczych wskazują wymagania względem ich konstrukcji i eksploatacji. Sprecyzowanie zadań stanowi podstawę do określenia tych wymagań, wśród których można wydzielić:

- wymagania ogólne względem konstrukcji samochodu,
- wymagania szczegółowe, skierowane przede wszystkim do wyposażenia tych pojazdów.

Wśród ważnych wymagań jest możliwość osiągania dużych przyspieszeń oraz prędkości jazdy oraz wyższe niż przeciętne wartości prześwitu, dopuszczalnego przechyłu, zwrotności, a także mniejszy niż przeciętnie minimalny promień skrętu czy szerokość korytarza w ruchu krzywoliniowym i podczas zawracania w ograniczonej przestrzeni [1-4].

Do grupy pojazdów stanowiących główne wyposażenie służb ratowniczych należą samochody ratowniczo-gaśnicze, ratownictwa technicznego, drabiny automatyczne i podnośniki pożarnicze. Pojazdy te, ze względu na konstrukcję i wyposażenie, często charakteryzują się wysoko położonym środkiem masy [6, 9]. Są one budowane na bazie samochodów ciężarowych poprzez dodanie specjalnego nadwozia i różnego rodzaju wyposażenia, co często wiąże się ze znacznym podniesieniem środka masy. Na takie wyposażenie składają się między innymi: zbiornik wody o pojemności do 7m³, pompa pożarnicza, sprzęt gaśniczy, narzędzia ratownictwa technicznego, urządzenia ratownictwa wysokościowego takie jak drabiny automatyczne czy podnośniki z osprzętem hydraulicznym i sterującym. Rysunek 1 przedstawia przykłady pojazdów specjalnych, wykorzystywanych przez straż pożarną.

Układ Kierowca-Pojazd-Otoczenie można nazwać układem regulacji, w którym samochód jest obiektem regulacji, kierowca jest regulatorem, otoczenie zaś dostarcza sygnałów prowadzących i zakłócających [10]. Statystyki wypadków jednoznacznie pokazują, że najbardziej zawodnym elementem tego układu jest człowiek. Jest jednak oczywiste, że duża liczba nieprawidłowych zachowań kierowców powodujących powstawanie krytycznych sytuacji drogowych, wynika z niedostosowania własności jezdnych pojazdu do umiejętności i zdolności psychofizycznych przeciętnego kierowcy. Dlatego też są prowadzone badania dynamiczne pojazdów pozwalające na rozpoznanie własności jezdnych pojazdów samochodowych, jak również na rozpoznanie wpływu różnych danych masowych i geometrycznych oraz wykorzystanych

¹ Instytut Technologii Eksploatacji-PIB; 26-600 Radom; ul. Pułaskiego 6/10. Tel: 48 3644241; e-mail: stanislaw.koziol@itee.radom.pl,

² Instytut Pojazdów Politechniki Warszawskiej, ul. Narbutta 84, 02-524 Warszawa; e-mail: Janusz.Pokorski@simr.pw.edu.pl

³ Instytut Technologii Eksploatacji-PIB; 26-600 Radom; ul. Pułaskiego 6/10. Tel: 48 3644118; e-mail: andrzej.zbrowski@itee.radom.pl

rozwiązań konstrukcyjnych zespołów samochodu na jego własności jezdne [5, 7, 8]. Badania tego rodzaju są prowadzone w wielu ośrodkach samochodowych na świecie już od lat czterdziestych XX wieku i dały podstawy do utworzenia, przez Międzynarodową Organizację Standaryzacji – ISO, standardów, normalizujących techniki badawcze własności jezdnych pojazdów. Samochody strażackie, pomimo że należą do grupy pojazdów specjalnych, muszą podlegać ocenie własności jezdnych potwierdzających bezpieczeństwo użytkowania w ruchu drogowym oraz podczas jazdy terenowej.



Rys. 1. A - samochód ratowniczo-gaśniczy, B – podnośnik pożarniczy, C - samochód z drabiną automatyczną

W artykule opisano koncepcję technicznego systemu pomiarowego do oceny stateczności i kierowności pojazdów pożarniczych lub innych z wysoko umieszczonym środkiem masy. Budowa systemu jest jednym z etapów pracy, której celem jest dobranie odpowiednich metod testowania bezpieczeństwa takich pojazdów oraz utworzenie odpowiedniej bazy badawczej w instytucji dopuszczającej je do użytkowania.

2. ZAŁOŻENIA OGÓLNE DO BUDOWY SYSTEMU

Głównym założeniem wstępnym do budowy systemu badawczego jest jego wielokierunkowa modułowość pozwalająca na badanie możliwie dużej grupy różnych pojazdów wykorzystywanych w służbach ratowniczych i do innych zastosowań. Modułowość obejmuje cztery grupy zagadnień:

- czujniki pomiarowe i generowane przez nie sygnały pozwalają na rejestrację przebiegów czasowych wartości parametrów charakteryzujących wymuszenia działające na pojazd oraz jego reakcje w warunkach dynamicznych,
- elastyczne programowanie układu pomiarowego i przebiegu cyklu pomiarowego pozwalają na dowolne konfigurowanie układu pomiarowego i sterowanie przebiegiem badania w sposób dostosowany do realizowanego testu oraz budowy badanego pojazdu,
- możliwość wielowariantowej analizy wyników testu pozwalająca na wieloparametrową ocenę zachowania badanego obiektu dzięki rejestracji wszystkich przebiegów przy wspólnej podstawie czasowej i możliwości analizy ich wzajemnych zależności,
- możliwość opracowywania i przedstawiania wyników badań w postaci pozwalającej na ocenę badanego obiektu zgodnie z obowiązującymi normami.

Struktura systemu badawczego ma zapewnić przede wszystkim wykonanie następujących wybranych do oceny właściwości jezdnych samochodów pożarniczych testów pomiarowych:

- ustalona jazda po okręgu zgodnie z ISO 14792 [11],
- skokowy obrót koła kierownicy w czasie jazdy na wprost zgodnie z ISO 14793 [12],
- hamowanie w czasie jazdy na łuku drogi zgodnie z ISO 14794 [13],
- podwójna zmiana pasa ruchu zgodnie z ISO 3888-1 [14].

Konsekwencją przyjętych założeń jest dobór odpowiedniego zestawu czujników pomiarowych i budowa układu pomiarowo-sterującego. W następnych rozdziałach artykułu omówiono dane techniczne oraz kompletację systemu pomiarowego składającego się z czujników pomiarowych, modułów układu pomiarowo-sterującego, komputera (mikroprocesora) pomiarowego i oprogramowania.

3. CZUJNIKI I SYGNAŁY POMIAROWE

Do rejestracji zjawisk fizycznych będących przedmiotem prowadzonych badań wykorzystane są trzy typy sygnałów pomiarowych:

- sygnały analogowe napięciowe (ANL),
- sygnały impulsowe (TTL),
- sygnały cyfrowe (DIG).

Dla każdego z trzech typów sygnałów przewidziano trzy typy programowalnych modułów wejściowych i współpracujących z nimi modułów dodatkowych (np. wzmacniaczy operacyjnych) układu kontrolno-pomiarowego.

Do zrealizowania wymienionych, standardowych testów związanych z badaniem stateczności i kierowności pojazdów pożarniczych niezbędnym jest rejestrowanie następujących sygnałów pomiarowych odzwierciedlających procesy fizyczne zachodzące w badanym pojeździe:

- przemieszczenie i prędkość wzdłużna wybranego punktu pojazdu względem powierzchni jezdni (sygnał TTL),
- prędkości przemieszczenia poprzecznego dwóch wybranych punktów pojazdu względem powierzchni jezdni (sygnały ANL),
- prędkości kątowne bryły nadwozia względem trzech, wzajemnie prostopadłych osi (sygnały ANL),
- przyspieszenia nadwozia wzdłuż trzech, wzajemnie prostopadłych osi (wzdłużne, poprzeczne i pionowe) - (sygnały ANL),
- kąt przechyłu wzdłużnego i poprzecznego nadwozia względem powierzchni jezdni (sygnały ANL),
- ugięcia zawieszek (przemieszczenia kół względem ramy) i/lub przemieszczenia nadwozia względem ramy (sygnały ANL),
- kąt obrotu i prędkości obrotu koła kierowniczego (sygnał TTL),
- moment obrotowy na wale koła kierowniczego (sygnały ANL),
- prędkości obrotowe kół samochodu (sygnał TTL),
- siła nacisku na pedał hamulca (sygnały ANL, sygnał DIG),
- położenie wybranego punktu pojazdu względem Ziemi (sygnał DIG).

Typy wymienionych sygnałów pomiarowych wynikają z zasad działania dobrego zestawu następujących czujników pomiarowych przeznaczonych do pomiarów poszczególnych wielkości fizycznych:

- czujnik prędkości przemieszczania wzdłużnego pojazdu - Correvit L firmy CORRSYS DATRON Sensorsysteme,
- dwa czujniki prędkości przemieszczania poprzecznego pojazdu – Correvit Q firmy CORRSYS DATRON Sensorsysteme,
- czujnik prędkości kątowych – trzyosiowy czujnik żyroskopowy,
- czujnik przyspieszeń – trzyosiowy czujniki przyspieszeń liniowych,
- cztery czujniki przemieszczeń względnych – Correvit H firmy CORRSYS DATRON Sensorsysteme,
- czujniki ugięcia zawieszenia (przy każdym kole jezdny) – indukcyjne czujniki przemieszczeń liniowych,
- cztery czujniki przemieszczeń nadwozia względem ramy – indukcyjne czujniki przemieszczeń liniowych,
- czujnik obrotu koła kierowniczego i momentu obrotowego koła kierownicy firmy CORRSYS DATRON Sensorsysteme,
- czujniki obrotowo-impulsowe prędkości obrotowych kół (czujnik przy każdym kole jezdny),
- tensometryczny czujnik siły na pedale hamulca ze stykiem sygnalizującym naciśnięcie pedału,
- czujnik lokalizacji pozycji GPS.

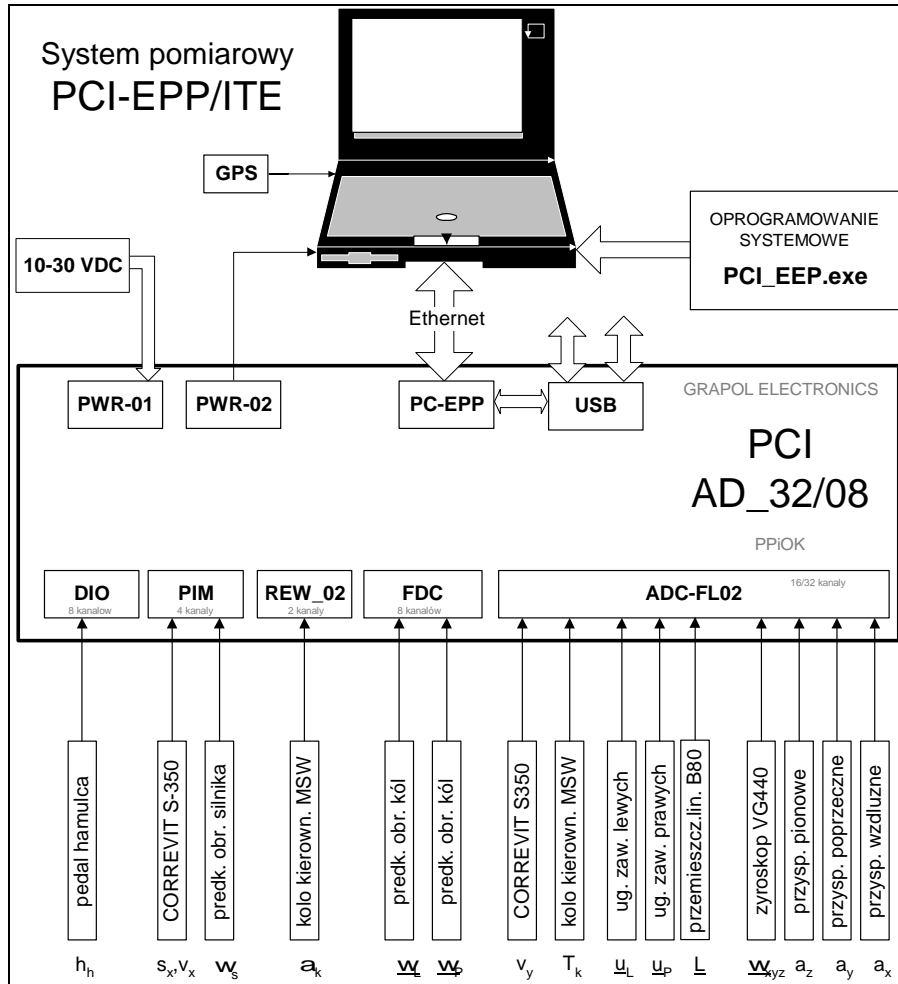
Przy pomocy takiego zestawu czujników można bezpośrednio lub pośrednio odtworzyć przebiegi wszystkich wymienionych sygnałów pomiarowych.

Większość wymienionych czujników stanowi zastrzeżone rozwiązania konstrukcyjne i powinny być one zakupione u producentów. Oddzielnym zagadnieniem jest problem systemów szybkiego mocowania czujników pomiarowych. Niektórzy z producentów oferują dodatkowe zestawy do ich mocowania w najczęściej stosowanych konfiguracjach. Niektóre niestandardowe rozwiązania konstrukcyjne samochodów pożarniczych wymagają opracowania dla większości czujników specjalnych adapterów i uchwytów pozwalających na zamocowanie ich w sposób zapewniający właściwe wykonanie pomiarów.

4. MODUŁOWY UKŁAD POMIAROWO-STERUJĄCY

Modułowy układ pomiarowo-sterujący pozwala bezpośrednio podłączyć wszystkie wymienione w poprzednim rozdziale, niezbędne dla wybranego testu czujniki pomiarowe. Producenci większości czujników (lub grupy czujników) proponują własne układy pomiarowo-sterujące przetwarzające pierwotne sygnały pomiarowe swoich czujników do postaci analogowej (ANL) lub postaci cyfrowej (DIG) w celu pośredniej (np. za pośrednictwem przetworników ADC) lub bezpośredniej (np. poprzez port USB) transmisji ich do komputerów PC typu Laptop (Notebook). Powoduje to niejednokrotnie nadmierną komplikację układu pomiarowego, zmniejszenie dokładności sygnałów pomiarowych bądź niekiedy nawet wzajemne ich zakłócanie. Do prezentowanego układu podłączane są sygnały pomiarowe w postaci pierwotnej (np. impulsy TTL w przypadku czujnika Correvit-L). W razie potrzeby dostępne są dla wybranych typów czujników odpowiednie wzmacniacze operacyjne i filtry wejściowe.

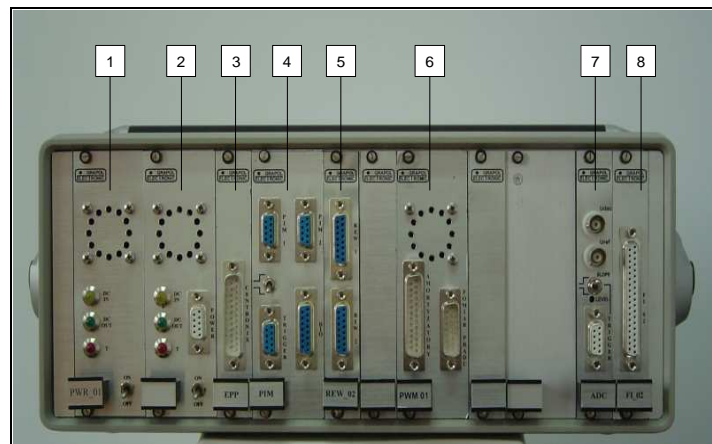
System pomiarowo-sterujący PCI_EPP składa się z układu pomiarowego PCI AD_32/08 i zewnętrznego mikrokomputera klasy PC. Układ pomiarowy kondycjonuje i przetwarza do postaci cyfrowej sygnały pierwotne z czujników pomiarowych pod nadzorem wewnętrznego mikroprocesora PC, który zarządza cyklem pomiarowym, archiwizuje wyniki pomiarów oraz udostępnia je zewnętrznemu komputerowi w celu ich wizualizacji lub dalszej analizy. Układ pomiarowy jest programowalnym, otwartym, modułowym układem przetwarzającym różnorodne sygnały pomiarowo-sterujące. Komputer zewnętrzny jest przenośnym mikrokomputerem PC typu Notebook wyposażonym w złącze Ethernet, port USB ewentualnie w port równoległy Centronics. Na rys. 2 przedstawiono schemat ideowy modułowego układu PCI-EPP wraz z pozostałymi elementami systemu pomiarowo-sterującego.



Rys. 2. Schemat funkcjonalny systemu pomiarowo-sterującego PCI-EPP

Modułowość układu PCI-EPP polega między innymi na tym, że jego płyta główna wyposażona jest w złącza przypominające sloty rozszerzające stacjonarnego komputera PC. Do dowolnego slotu można włożyć dowolny (przewidziany przez konstruktora) moduł funkcyjny do obsługi odpowiednich czujników pomiarowych lub członów wykonawczych systemu kontrolno-pomiarowego. Otwartość systemu pomiarowego wynika z możliwości programowania dowolnego cyklu pomiarowego w oparciu o wykorzystywane w danej chwili moduły. Układ ten przypomina zestaw K500P amerykańskiej firmy Kithley z interfejsem ISA.

Na rys. 3 przedstawiono zdjęcie przykładowego wykonania układu pomiarowo-sterującego PCI-EPP opracowanego przez pracowników Instytutu Organizacji Systemów Produkcyjnych Politechniki Warszawskiej oraz Instytutu Pojazdów PW.



Rys. 3. Płyta czołowa układu pomiarowo-sterującego PCI-EPP (opis w tekście)

Układ PCI-EPP ma modułową konstrukcję pozwalającą na dowolną konfigurację systemu pomiarowo-sterującego w zależności od indywidualnych potrzeb. Przedstawiony na rys.3 układ, przygotowany do badania stateczności ruchu samochodu zawiera:

- 1 PWR-01 przetwornicę 10-30 VDC / +5, +12, ± 18 VDC do zasilania modułów układu PCI-EPP,
- 2 PWR-02 przetwornicę do zasilania komputera sterującego typu Notebook o indywidualnie ustawianym napięciu 10-24 VDC,
- 3 EPP Moduł CENTRONIX do połączenia z zewnętrznym komputerem pomiarowym poprzez port równoległy Centronics; alternatywnym rozwiązaniem jest moduł sprzęgający Ethernet lub port szeregowy USB,
- 4 PIM_4+DIO PIM_4: moduł 4 programowalnych uniwersalnych układów liczników impulsów TTL do pomiaru drogi, prędkości itp. oraz DIO: port wejść/wyjść do obsługi sygnałów cyfrowych; moduł zawiera również zegar taktujący,
- 5 REW_2 moduł 2 programowalnych rewersyjnych układów liczników impulsów TTL do pomiaru kąta obrotu kierownicy itp.,
- 6 PWM_6 moduł 6 programowalnych stałoprądowych wzmacniaczy indukcyjnych do czujników przemieszczeń liniowych,
- 7 DAC moduł 16-kanalowego (ew. 32-kanalowego) przetwornika analogowo-cyfrowego wraz z programowalnymi wielozakresowymi wzmacniaczami instrumentalnymi,
- 8 FL_02 moduł 16-kanalowego programowalnego wejściowego filtra dolnoprzepustowego.

W zależności od wersji, w obudowie układu PCI-EPP można umieścić od 4 do 12 modułów funkcyjnych. Obligatoryjne są tylko moduły o numerach 1 oraz 3.

W przypadku rozwiązania przedstawionego na rys. 3 układ pomiarowo-sterujący wykorzystuje mikroprocesor i pamięć zewnętrznego komputera PC do sterowania procesem pomiarowym i przechowywania wyników pomiaru. Komputer zewnętrzny komunikuje się w czasie rzeczywistym z układem pomiarowym poprzez port równoległy CENTRONIX (moduł EPP – rys. 3). Zapewnia to częstotliwość próbkowania kanałów analogowych na poziomie 50 kHz (przy jednym sygnale ANL), co jest w zupełności wystarczające dla testów stateczności ruchu samochodów.

Możliwe jest również połączenie układu kontrolno-pomiarowego poprzez Ethernet lub port szeregowy USB (por. rys. 2). Wówczas układ ten wyposażony jest we własny, wewnętrzny mikroprocesor PC i pamięć operacyjną, w której przechowywany jest program pomiarowy i ewentualnie wyniki pomiarów. Komplikuje to znacznie budowę tego układu, ogranicza możliwość modyfikacji lub konstruowanie nowego oprogramowania pomiarowego oraz znacznie ogranicza grafikę w czasie rzeczywistym. Rozwiązanie to wskazane jest jedynie w przypadku braku dostępu do portu równoległego (od strony komputera) lub konieczności realizacji znacznie szybszych pomiarów.

Układ charakteryzuje się następującymi podstawowymi parametrami pomiarowymi (dla interfejsu równoległego):

- 1 - maksymalna częstotliwość zegara taktującego - 1 MHz ,
- 2 - czas konwersji przetwornika analogowo-cyfrowego - 10 μ s,
- 3 - rozdzielczość przetwornika analogowo-cyfrowego - 12 bitów,
- 4 - częstotliwość próbkowania jednego kanału analogowego - 50 kHz,
- 5 - liczba kanałów analogowych - 16 + 16,
- 6 - zakresy pomiarowe kanałów analogowych: +/- 0.625 V, +/- 1.25 V, +/- 2.50 V, +/- 5.00 V, +/- 10.0 V,
- 7 - maksymalna częstotliwość filtra dolnoprzepustowego - 100 Hz,
- 8 - liczba uniwersalnych liczników impulsów TTL - 8 + 4,
- 9 - liczba rewersyjnych liczników impulsów TTL - 2,
- 10 - maksymalna częstotliwość sygnałów TTL - 100 kHz,
- 11 - liczba portów cyfrowych wejściowych 8-bitowych - 1,

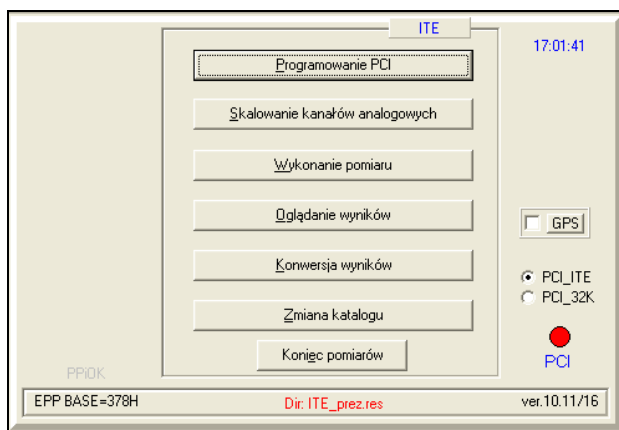
- 12 - liczba portów cyfrowych wyjściowych 8-bitowych - 1,
- 13 - maksymalna częstotliwość próbkowania 20 kanałów analogowych - 1 kHz.

Przedstawione wartości parametrów układu pomiarowego są praktycznie niezależne od współpracującego z nim zewnętrznego komputera sterującego. Wobec parametrów współczesnych komputerów osobistych liczba zbieranych próbek, a tym samym czas pomiaru jest praktycznie nieograniczony. Wymagany jest jedynie system operacyjny Windows XP lub wyższy. Dla obsługi sygnału GPS niezbędny jest jeden kanał transmisji szeregowej USB.

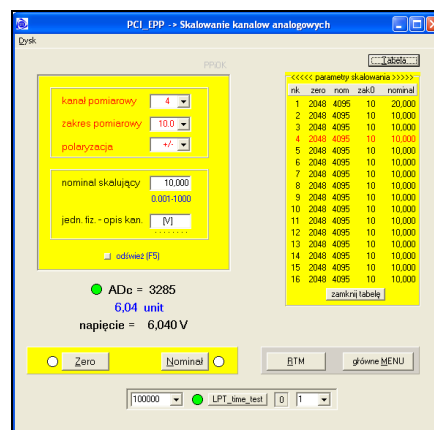
5. OPROGRAMOWANIE STERUJĄCE SYSTEMU POMIAROWEGO

Oprogramowanie pomiarowo-sterujące systemu pomiarowego stanowi oryginalny pakiet programów pracujących w środowisku Windows XP opracowanych specjalnie dla opisanego układu pomiarowego. Podstawowe oprogramowanie składa się z szeregu modułów pozwalających między innymi na:

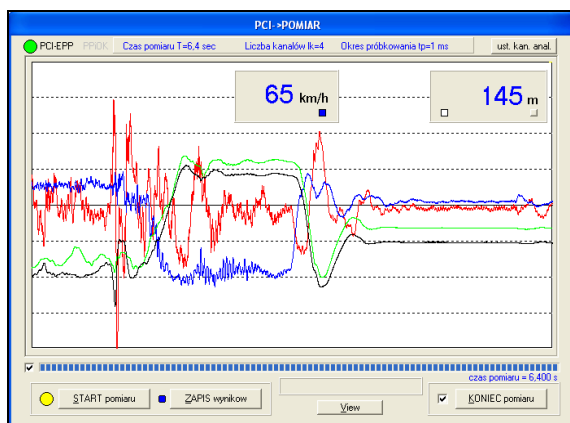
- skalowanie kanałów analogowych i impulsowych,
- zaprogramowanie i wykonanie dowolnej (w ramach zainstalowanych modułów) sekwencji cyklu pomiarowego, a w szczególności ustalenie:
 - częstotliwości próbkowania,
 - czasu pomiaru,
 - sekwencji próbkowania i wzmocnienia i filtrów sygnałów pomiarowych,
 - parametrów wizualizacji w czasie rzeczywistym na monitorze komputera i wyświetlaczu zewnętrznym,
 - trybu sygnalizacji przekroczenia dopuszczalnych poziomów sygnałów pomiarowych,
- oglądanie wyników pomiarów i wstępna analiza poziomów mierzonych sygnałów,
- konwersja wyników pomiarów do postaci znakowej.



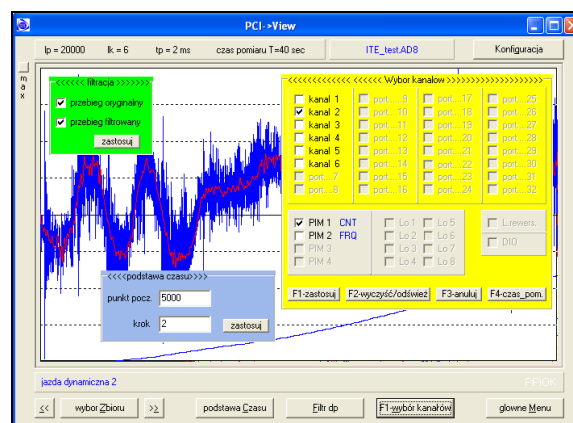
A



B



C



D

Rys. 4. Prezentacja wybranych opcji oprogramowania systemowego PCI-EPP: A – menu główne, B – skalowanie kanału analogowego, C – rejestracja wyników pomiarów, D – analiza wyników pomiarów

Dodatkowe, specjalistyczne oprogramowanie obejmuje analizę liczbową i graficzną przeprowadzonych testów zgodnie z wymogami odpowiednich norm dotyczących przeprowadzanych testów. Na rys. 4 zamieszczono widoki ekranu komputera ilustrujące niektóre z możliwości oprogramowania dedykowanego dla układu pomiarowego PCI-EPP.

6. PODSUMOWANIE

Pojazdy specjalne wykorzystywane w Straży Pożarnej do działań gaśniczych i ratowniczych, pomimo często spotykanego niekorzystnego położenia środka masy, powinny charakteryzować się dobrymi właściwościami jezdny. System do badań właściwości jezdnych, którego koncepcję przedstawiono w artykule, składa się z czujników do pomiaru parametrów ruchu, układu pomiarowo-sterującego i oprogramowania. Pozwala on na przeprowadzenie wybranych standardowych testów kierowności i stateczności samochodu w sytuacjach drogowych zagrażających bezpieczeństwu ruchu. Ze względu na specjalne rozwiązania konstrukcyjne samochodów pożarniczych, wykorzystanie systemu jest możliwe pod warunkiem wykonania i zastosowania odpowiednich uchwytów i elementów adaptacyjnych pozwalających na zainstalowanie komponentów systemu w pojeździe. Wyniki badań uzyskanych z wykorzystaniem opisanego rozwiązania pozwolą na rzetelną ocenę bezpieczeństwa samochodów pożarniczych w trakcie badań dopuszczających je do użytkowania oraz będą przydatne w pracach badawczo-rozwojowych i konstrukcyjnych związanych z ich projektowaniem i wytwarzaniem.

Opisany system badawczy dzięki modułowej budowie oraz możliwości elastycznej konfiguracji w zakresie doboru czujników i modyfikacji oprogramowania może być wykorzystywany do badań właściwości jezdnych różnych pojazdów i maszyn, których bezpieczeństwo jest uzależnione od ich reakcji na sygnały sterujące i zakłócenia zewnętrzne występujące podczas ruchu.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Andrzejewski R., „Stabilność ruchu pojazdów kołowych”, WNT, Warszawa, 1997r.
- [2] Litwinow A., „Kierowność i stateczność samochodu”, WKŁ, Warszawa 1976.
- [3] Mitschke M., „Dynamika samochodu”, WKŁ Warszawa 1977.
- [4] Prochowski L., Pojazdy samochodowe, Mechanika ruchu, wydanie 2, WKiŁ, Warszawa 2009.
- [5] Kamiński E., Pokorski J.: „Dynamika zawiesznień i układów napędowych pojazdów samochodowych. WKŁ, Warszawa 1983.
- [6] Gidlewski M.: Wpływ położenia środka masy na zachowanie się samochodu ciężarowego w ruchu krzywoliniowym. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów 4(16)/95. PW SiMR, Warszawa 1995.
- [7] Pieniążek W., „Wybrane zagadnienia badania stateczności i kierowności samochodów”, Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej. Nr 3(79)/2010. Str. 29 ÷ 44.
- [8] Wichler J., „Stabilność układów a stateczność pojazdów drogowych”, Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej. Nr 3(79)/2010. Str. 9 ÷ 18.
- [9] Prochowski L., Koziół S.: Zagrożenia w ruchu pojazdów z wysoko położonym środkiem masy, Problemy Eksploatacji 2011 nr 2, s 297-308
- [10] Gidlewski M., Koziół S., Zbrowski A.: Metody badań własności jezdnych samochodów z wysoko położonym środkiem masy. Logistyka 6/2011, s. 1103-1114.
- [11] ISO 14792:2011, “Road vehicles - Heavy commercial vehicles and buses - Steady-state circular tests”.
- [12] ISO 14793:2011, “Road vehicles - Heavy commercial vehicles and buses - Lateral transient response test methods”.
- [13] ISO 14794:2011, “Heavy commercial vehicles and buses - Braking in a turn - Open-loop test methods”.
- [14] ISO 3888-1:1999 “Passenger cars - Test track for a severe lane-change manoeuvre. Double lane-change”.