

**Henryk URZĘDNICZOK**

POLITECHNIKA ŚLĄSKA, INSTYTUT METROLOGII, ELEKTRONIKI I AUTOMATYKI

**MilCAN – interfejs przeznaczony do stosowania w pojazdach wojskowych**

Dr inż. Henryk URZĘDNICZOK

Ukończył studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej, specjalność automatyka i metrologia elektryczna. Aktualnie jest zatrudniony na stanowisku adiunkta w Instytucie Metrologii, Elektroniki i Automatyki Politechniki Śląskiej. Jego zainteresowania naukowe i zawodowe obejmują zagadnienia dotyczące automatyki, instrumentacji w systemach automatyki, systemy pomiarowe, miernictwo przemysłowe oraz sensorykę.



e-mail: henryk.urzedniczok@polsl.pl

**Streszczenie**

W artykule opisano skróto wymagania stawiane systemom przesyłania danych przewidzianym do zastosowań wojskowych, szczególnie w pojazdach wojskowych. Przedstawiono najważniejsze cechy nowego standardu, nazwanego roboczo MilCAN, wynikające z ostatnio opublikowanych specyfikacji dotyczących trzech warstw modelu ISO-OSI: warstwy fizycznej, warstwy łącza danych i warstwy aplikacji.

**Słowa kluczowe:** magistrala CAN, MilCAN, wetrologia, pojazdy wojskowe.

**MilCAN – interface bus for military vehicles****Abstract**

The paper briefly describes the requirements formulated for data buses installed in military applications, particularly in military vehicles. It presents the most important features of a new proposed standard, named MilCAN, resulting from the latest specifications regarding three layers of ISO-OSI model: physical, data link and application layers.

**Keywords:** CAN bus, MilCAN, vetronics, military vehicles.

**1. Wprowadzenie**

Pojazdy mechaniczne, w tym pojazdy do zastosowań militarnych, wyposażone są obecnie w bardzo liczne podsystemy elektroniczne. Funkcjonuje już nawet specjalne określenie tego typu systemów: „wetrologia” (ang. vetronics – vehicle electronics). Nieustanny rozwój stwarza konieczność wzajemnej współpracy tych systemów, ich integracji w ramach jednego pojazdu. Obecnie najefektywniejszym sposobem integracji różnych podsystemów jest połączenie ich za pomocą magistral, najczęściej szeregowych.

Szczególne miejsce, ze względu na liczne zalety, zajmuje tu magistrala CAN, stosowana powszechnie w różnych systemach – cywilnych (np. [1, 2]), a także wojskowych (np. [3, 4]). Dostępne są różne wersje, zmodyfikowane i rozszerzone w stosunku do wersji pierwotnej. Jedną z najpopularniejszych wersji stanowi CANopen, opracowany i wspierany przez organizację CiA (CAN in Automation). Magistrala CAN była opracowana pierwotnie do zastosowań w pojazdach, jednakże nie wojskowych. Szczególne i wysokie wymagania stawiane systemom w pojazdach do zastosowań militarnych sprawiają, że dotychczasowe wersje magistrali CAN nie mogą być w tym przypadku w pełni funkcjonalne [5, 6]. Najważniejsze z tych wymagań to:

- deterministyczny mechanizm wymiany informacji, znaczna szybkość przesyłania danych dla niektórych podsystemów, np. wizyjnych, kierowania ogniem,
- odporność na uszkodzenia przy trudnych warunkach pracy (wysoki poziom zakłóceń, narażenia mechaniczne i termiczne),
- znaczna zdolność wykrywania i korekcji błędów transmisji danych,

- redundancja, możliwość instalacji urządzeń bez wyłączania systemu.

Są także inne cechy, które należy wziąć pod uwagę, na przykład uaktualnianie wyposażenia pojazdów wojskowych w okresie ich wieloletniej eksploatacji lub też kompatybilność podzespołów produkowanych przez różnych producentów. Magistrala CAN nie gwarantuje pracy w czasie rzeczywistym i innych wymienionych wyżej właściwości w rozumieniu wymagań formułowanych dla sprzętu wojskowego.

Aby spełnić wymienione wymagania podjęto prace nad opracowaniem nowego standardu magistrali CAN, określanego obecnie jako MilCAN. Oparcie nowego standardu na magistrali CAN nie jest przypadkowe - wynika z sukcesu odniesionego przez to rozwiązanie w różnego rodzaju zastosowaniach. Prostota CAN przy jej jednoczesnej elastyczności i efektywności sprawia, że podobne rozwiązanie wydaje się być atrakcyjne w zastosowaniach do pojazdów komercyjnych i militarnych. W założeniach MilCAN został pomyślany tak, aby zapewnić prostotę sprzężenia z innymi systemami wykorzystującymi magistralę CAN, szczególnie SAE J1939 i CANopen. Zasadniczym założeniem przy opracowaniu standardu MilCAN było, aby wykorzystać odniesienia do ISO 11898 za każdym razem, gdy jest to możliwe. Uszczegółowione są jedynie te specyficzne odstępstwa i dodatki, które są wymagane, ze względu na wymagania zastosowań w pojazdach militarnych. Poza tym MilCAN bazuje również na J1939 i protokole CUP, opracowanym w Niemczech dla celów wojskowych. Jest możliwe podłączenie urządzeń J1939 i MilCAN do tej samej magistrali. Urządzenia CANopen muszą być łączone poprzez tzw. mostek.

**2. Specyfikacja magistral MilCAN**

W dokumentach [7] i [8], opracowanych przez organizację MilCAN, zdefiniowane są dwa warianty standardu: MilCAN A i MilCAN B. Wersja MilCAN A jest oparta na CAN 2.0B z 29 bitowym identyfikatorem wiadomości i ma wiele podobieństw do SAE J1939. Podstawowa różnica dotyczy tego, że MilCAN A zapewnia deterministyczny transfer danych i obsługuje zarówno transmisję synchroniczną jak i asynchroniczną. MilCAN B oparty jest na identyfikatorze 11 bitowym i dopasowany do urządzeń zaprojektowanych dla magistrali CANopen.

Specyfikacja dla MilCAN składa się z kilku dokumentów dla każdego z wariantów: specyfikacji warstwy fizycznej, specyfikacji warstwy łącza danych i specyfikacji dla aplikacji. Dokumenty te wymieniono w tabelach 1 i 2. W tabeli tej wymieniono również dokumenty zbiorcze [7] i [8].

Tab. 1. Dokumenty specyfikujące MilCAN A  
Tab. 1. Documents specifying MilCAN A

Nazwa dokumentu	Wersja	Data wydania	Numer specyfikacji
MilCAN A Specification	2	Październik 2007	MWG-MILA-001
MilCAN A Physical Layer Specification	3	Maj 2003	IHSDB-APP-GEN-D-030
MilCAN A Data Link Layer Specification	4	Marzec 2003	HSDB-APP-GEN-D-031
MilCAN A Application Layer Specification	2	Marzec 2003	HSDB-APP-GEN-D-032
MilCAN A Management Layer Specification	1	Maj 2003	HSDB-APP-GEN-D-036

Tab. 2. Dokumenty specyfikujące MilCAN B  
Tab. 2. Documents specifying MilCAN B

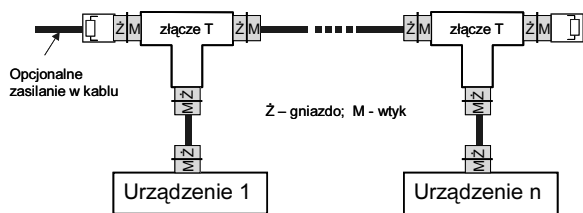
Nazwa dokumentu	Wersja	Data wydania	Numer specyfikacji
MilCAN B Specification	2	Wrzesień 2006	MWG-MILB-001
MilCAN B Physical Layer Specification	1	Maj 2002	IHSDB-APP-GEN-D-033
MilCAN B Data Link Layer Specification	1	Maj 2002	HSDB-APP-GEN-D-034
MilCAN B Application Layer Specification	1	May 2002	HSDB-APP-GEN-D-035

Wymagania i rozwiązania opisane w tych dokumentach podzielono na trzy grupy: wymagania obligatoryjne, opcjonalne oraz dowolne (niezdefiniowane, zależne od projektanta systemu). W każdym przypadku, gdzie zachodzi ścisła zgodność z ISO 11898 odwołano się do dokumentu ISO 11898 [9].

Najważniejsze cechy nowo wprowadzonej magistrali w wersji MilCAN A wynikające z tych specyfikacji opisane są poniżej.

## 2.1. Warstwa fizyczna

MilCAN zaleca, aby sygnały były optoizolowane i zasilane z izolowanego źródła. W pojazdach militarnych musi być tolerowany szeroki zakres zmian napięć stałych i chwilowych (przebieg). Sprawia to, że źródła zasilania są często skomplikowane i drogie. MilCAN zmierza dalej niż ISO 11898-2 we wsparciu koncepcji zasilania „in-cable”, po to, aby efektywnie dostarczać zasilanie z centralnego źródła zasilania do oddalonych węzłów. Ta właściwość sprawia, że w warstwie fizycznej MilCAN wprowadza zalecenie dotyczące typu złącza - każde złącze mogące stanowić źródło zasilania, bez względu na topologię, musi być żeńskie. Przykład połączenia zgodnego z topologią liniową pokazano na rys. 1. Na rysunku tym uwidoczniło także umiejscowienie rezystorów dopasowujących na końcach linii (terminatorów). Proponowane są również inne topologie: liniowa multi-drop z rozgałęzionym kablem oraz łańcuchowa (daisy-chain), w której urządzenie w sieci (węzeł) powinien mieć dwa gniazda, męskie i żeńskie. Proponowane są również specyficzne typy złącz w wykonaniu militarnym: MIL-DTL-D38999. Określone są trzy szybkości wymiany danych: 1 Mbit/s, 500 kbit/s i 250 kbit/s.



Rys. 1. Połączenie urządzeń z zasilaniem w kablu, topologia liniowa multi-drop  
Fig. 1. Connection of devices with in-cable supply, linear multi-drop topology

## 2.2. Warstwa łącza danych

MilCAN A stosuje tylko 29 bitowy rozszerzony format zdefiniowany przez ISO 11898-1. Ten format jest oparty na SAE J1939 po to, aby pozwolić na używanie dwóch formatów na tej samej magistrali, rozróżnianych poprzez bit typu protokołu (bit 25). Tak jak w każdym przypadku magistrali CAN dane są rozgłaszane, a bity 0 do 7 identyfikatora zawierają zwykle adres fizyczny urządzenia, które aktualnie wysyła, a nie urządzenia odbierające. To sprawia, że wiele węzłów może rozpoznać źródło wiadomości i rozróżnić jednakowe wiadomości pochodzące z różnych źródeł. Warstwa łącza danych MilCAN definiuje również typy wiadomości i poziom priorytetu, używając bitów nr 26-28 identy-

fikatora ramki. Dzięki temu w warstwie aplikacji możliwe jest wykorzystanie mechanizmów priorytetu wiadomości.

### Wiadomości wieloramkowe

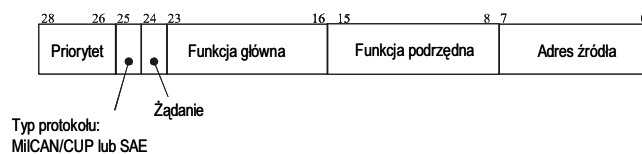
Jeżeli długość wiadomości przekracza 8 bitów, to musi ona zostać rozdzielona na kilka ramek. W zależności od natury danych może to być zrobione na jeden z dwóch sposobów. Dla zagwarantowania dostarczenia danych krytycznych ze względu na czas lub bezpieczeństwo, będą one normalnie transmitowane jako grupa pojedynczych wiadomości (ramek), każda z unikalnym identyfikatorem funkcji. Jeżeli zaś dane nie są krytyczne, to mogą one być przesłane jako wiadomość złożona z połączonych (zlinkowanych) ramek danych. Tego typu wiadomość jest nazwana wiadomością wieloramkową. Wymagany jest wówczas specjalny podprogram (tzw. handler) do umieszczania poszczególnych części w wiadomości wieloramkowej i dostarczenia jej do warstwy łącza danych.

## 2.3. Warstwa aplikacji

Warstwa aplikacji MilCAN realizuje metodę segmentowania wiadomości i stosuje elastyczny deterministyczny protokół po to, aby zachować zdolność do wprowadzania zmian zarówno wynikających z aplikacji jak i z funkcji pojazdu.

### Przydzielanie identyfikatora wiadomości

Stosowany jest 29 bitowy identyfikator MilCAN pokazany na rys. 2.



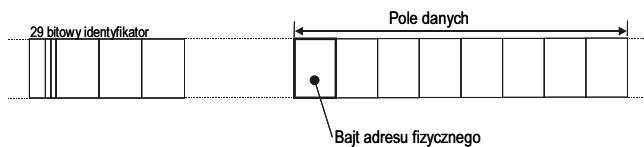
Rys. 2. Wykorzystanie pół 29 bitowego identyfikatora wiadomości  
Fig. 2. Utilization of the 29-bit message identifier fields

Bity 28-26 określają priorytet wiadomości, bity 23-16 określają jeden z 256 typów wiadomości, a bity 15-8 definiują jeden z 256 podtypów dla każdego typu. Określanie typów i podtypów pozwala grupować wiadomości np. według zadań (nawigacja, sterowanie mocą, urządzenia HMI, pozyskiwanie danych itp.). Numerowanie typów i podtypów dokonywane jest sekwencyjnie, poczynając od zera, z opuszczeniem niewykorzystanych pozycji danej grupy. Takie podejście wykazuje szereg korzyści. Pozwala na:

- łatwe zgrubne filtrowanie np. tylko pierwszych ośmiu typów,
- dokładne filtrowanie określonych typów i podtypów,
- wsteczną kompatybilność, tzn. nowe wiadomości określonego typu „wyrastają” z wiadomości wcześniej wstawionych (właściwość dziedziczenia),
- proste uzupełnienie słownika wiadomości o zupełnie nowe typy.

### Adresowanie „wieloinstancyjne”

Ten typ adresowania wynika z obserwacji, że gdy dokonywany jest wstępny przydział typu, liczba fizycznych instancji danej funkcji nie może być przewidziana. Przykładowo, jeżeli rozważy się funkcję sterowania kamerą, nie jest wiadomo ile kamer jest zainstalowanych, a ta liczba może być różna w każdym pojeździe. Dla rozwiązania tych wymagań, MilCAN wprowadza typ adresowania wieloinstancyjnego, które jest niezależne od typu wiadomości. W odpowiednich przypadkach element zawierający adres fizyczny jest umieszczony raczej w jednym z bajtów pola danych niż w polu adresu źródła (rys. 3).



Rys. 3. Wykorzystanie bajtu pola danych jako do wskazania adresu fizycznego  
Fig. 3. Utilization of data field byte for indicating a physical address

Takie rozwiązanie ma następujące zalety:

- adres źródła dotyczy węzła CAN i nie powinien być łączony z funkcją systemową, której używa ten węzeł dla dostępu do magistrali; przez umieszczenie adresu fizycznego w polu danych funkcje mogą być przenoszone z jednego węzła do drugiego.
- liczba fizycznych elementów w węźle może być zmienna, a powyższy schemat adresowania pozwala węzłom na ich rozróżnienie.

### Obsługa wiadomości deterministycznych

Urządzenia podłączone do magistrali MilCAN różnią się znacznie możliwościami, dlatego też obsługa deterministycznego przesyłania wiadomości musi być dostępna zarówno przy skomplikowanych jak i prostych urządzeniach. Ponadto niektóre urządzenia wymagają synchronizowanej komunikacji pomiędzy sobą, podczas gdy inne nie. MilCAN używa priorytetowego dostępu do magistrali ze skokowo przepustowym protokołem. To zapewnia determinizm dla tych urządzeń, które tego wymagają i zapewnia wystarczającą elastyczność dla tych, które tego nie wymagają. Zdefiniowano po prostu pewną liczbę poziomów jednostek czasu; każda gwarantuje określone opóźnienie i poszczególne węzły mogą transmitować jedną wiadomość w przydzielonym im czasie. Wiadomości o wysokim priorytecie (level 1) są zawsze typu Hard Real Time (HRT) i będą dostarczone jednokrotnie w każdej podstawowej jednostce czasu (Primary Time Unit, PTU), tzn. w ciągu 2ms przy szybkości 1 Mbit/s. Wiadomości o niższym priorytecie (level 2) mogą być HRT lub SRT (Soft Real Time) i jest zagwarantowane dostarczenie ich w ciągu 16 ms (8 PTU) i tak dalej odpowiednio. Zasada ta jest zilustrowana w tabeli 3 i na rys. 4.

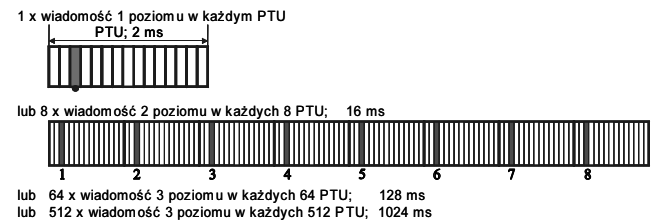
Tab. 3. Przydział priorytetów wiadomości  
Tab. 3. Assignment of message priorities

Priorytet (bity 28-26)	Kryterium poziomu
0 (najwyższy)	Wiadomości operacyjne protokołu (np. SYNC)
1	HRT1 – Poziom 1, gwarantowane opóźnienie w ramach 1 PTU (2ms przy 1Mbit/s)
2	HRT2 – Poziom 2, opóźnienie do 8 PTU (16ms przy 1Mbit/s)
3	HRT3 – Poziom 3, opóźnienie do 64 PTU (128ms przy 1Mbit/s)
4	SRT1 – Poziom 2, opóźnienie do 8 PTU (16ms przy 1Mbit/s)
5	SRT2 – Poziom 3, opóźnienie do 64 PTU (128ms przy 1Mbit/s)
6	SRT3 – Poziom 4, opóźnienie do 512 PTU (1024ms przy 1Mbit/s)
7 (najniższy)	Non Real Time (NRT), dowolny czas

Takie rozwiązanie wykazuje następujące cechy:

- wprowadza zróżnicowanie priorytetów wiadomości: HRT, SRT i NRT,
- zapewnia obsługę wiadomości zarówno zdarzeniową jak i periodyczną,

- nie ma ograniczenia co do ilości wiadomości w jednostce czasu, co zapewnia efektywną transmisję wiadomości o niskim priorytecie,
- pozwala na włączenie wiadomości synchronizujących jeden raz na jednostkę czasu dla tego węzła, który tego wymaga,
- zapewnia korekcję błędów transmisji, redukcję „jitteru” i innych błędów w timingu wiadomości.



Rys. 4. Wykorzystanie mechanizmu jednostek czasu do przesyłania wiadomości o różnych priorytetach

Fig. 4. Utilization of time units mechanism for sending messages of different priorities

### Synchronizacja pomiędzy urządzeniami

Systemy elektroniki w pojazdach militarnych normalnie składają się z wielu rozproszonych podsystemów i w rezultacie zastosowana architektura komunikacyjna musi zapewniać determinizm i koordynację wymiany danych. Protokół MilCAN definiuje wiadomość żądania synchronizacji (sync generator claim message) i sposób jej użycia jako części procesu arbitrażu. Jej źródłem jest generator synchronizacji, który rozgłasza ramkę synchronizacji w każdym PTU po to, aby umożliwić koordynację działań poszczególnych węzłów. Każdy węzeł, który żąda użycia ramki synchronizacji musi monitorować również jej brak. Jeżeli węzeł stwierdzi, że ramka synchronizacji jest spóźniona (z powodu uszkodzenia generatora synchronizującego lub przeciążenia magistrali), to musi wyzwolić ponowny proces żądania dostępu w celu ponownej synchronizacji. Raz uruchomiony proces żądania dostępu wymaga jedynie transmisji dwóch ramek. Pierwsza to wybrana transmisja i druga sygnalizująca węzłom utratę sygnału w celu anulowania ich procesów żądania dostępu. Nowy generator synchronizacji natychmiast rozpoczyna wysyłanie ramek synchronizujących.

## 3. Podsumowanie

Obecnie specyfikacja MilCAN jest traktowana jako dokument doradczy, inicjujący proces w ujednocniania komunikacji w sprzęcie militarnym. Wynika to z definicji, którą organizacja MILCAN zamieszcza na swojej stronie internetowej: „MilCAN jest protokołem deterministycznym, który może być stosowany w technice CAN określonej przez ISO 11898. Mimo, że MilCAN pierwotnie zaprojektowany został do stosowania w wojskowych pojazdach lądowych, to można go stosować wszędzie tam, gdzie wymagany jest determinizm w przesyłaniu danych”. Zamierzenia są takie, aby stanowią one podstawę do opracowania otwartego standardu odpowiedniego do ratyfikowania w najbliższym czasie. Organizacja MILCAN udostępnia na swoich stronach internetowych specyfikacje standardu MilCAN, zastrzegając jednak, że ich wykorzystanie jest dobrowolne i wiąże się z wyłączną odpowiedzialnością użytkownika.

Standard MilCAN zapewnia zgodność zasad przesyłania wiadomości z protokołami stosowanymi wcześniej w sprzęcie militarnym, jednak bez gwarantowania ścisłej z nimi zgodności. Mimo fakultatywnego charakteru można przyjąć, że opracowany standard MilCAN spełnił swój najważniejszy cel, to jest dostarczył solidnej podstawy dla wykorzystania operatywności magistrali CAN w zastosowaniu do sprzęgania elektronicznych podsystemów w pojazdach wojskowych. Pojawiające się w literaturze oraz

na stronach internetowych opisy zastosowanych bądź projektowanych rozwiązań wskazują na to, że standard MilCAN będzie zdobywał coraz szersze uznanie wśród projektantów i konstruktorów systemów elektronicznych stosowanych w sprzęcie wojskowym.

#### 4. Literatura

- [1] Reclik D., Świder J., Kost G.: Protokół CAN w systemie sterowania B&R magazynem regałowym. PAK 2008 nr 02, s. 40-43
- [2] Świder Z., Mikluszka W., Rzońca D., Trybus B.: Integracja protokołów CAN i MODBUS w rozproszonym systemie sterowania. PAK 2005 nr 01, s. 21-24
- [3] Majoewsky S., DavieS C.: Adopting COTS CANbus to Military Vetronics. 8-th International CAN Conference, 2002, USA
- [4] Taylor G.: CANbus on Engineering Vehicles for the British Army. The 11-th International CAN Conference, Stockholm, 2006.
- [5] Qabaz A.: Implementation of MilCAN on Main Battle Tank, The 10-th International CAN Conference, Rome, 2005.
- [6] MilCAN for Military Vehicles. CAN Newsletter, 1/2004, pp. 48-50.
- [7] MilCAN A Specification, MWG-MILA-001, Revision 2, October 2007, <http://www.milcan.org>
- [8] MilCAN B Specification, MWG-MILB-001, Revision 2, September 2006, <http://www.milcan.org>
- [9] ISO 11898 Road Vehicles – Interchange of digital information – Controller area network (CAN) for high-speed communications. First edition 1993 (Amended 1995), International for Standardisation, Geneva, Switzerland, ISO, ISO 11898:1993 (E).

Artykuł recenzowany

## INFORMACJE



### VIII Targi Przemysłowej Techniki Pomiarowej CONTROL-TECH

Od 24 do 26 września w Kielcach odbyły się VIII Targi Przemysłowej Techniki Pomiarowej **CONTROL-TECH**.



160 wystawców z 15 krajów przez 3 dni prezentowało swoje produkty - sprzęt do kontroli pomiarowej, aparaturę badawczą i wyposażenie pomieszczeń laboratoryjnych. Z roku na rok zainteresowanie wystawą rośnie zarówno wśród wystawców, jak i zwiedzających. Swoje stoiska na tych targach mają liderzy rynku - największe w Polsce firmy zajmujące się dystrybucją pomiarowych maszyn współrzędnościowych oraz ręcznych przyrządów pomiarowych. Kielce co roku odwiedzają również przedstawiciele firm, dystrybutorzy oraz sprzedawcy między innymi z Austrii, Czech, Francji, Holandii, Izraela, Japonii, Niemiec, Szwajcarii, Wielkiej Brytanii, Włoch, USA, Chin, Hiszpanii, Danii, Szwecji, Indii, Irlandii. Wystawa poświęcona jest bowiem najnowszym technikom i metodom pomiarowym. Podczas targów można zobaczyć między innymi twardościomierze, mikroskopy inspekcyjne

i pomiarowe, urządzenia do pomiaru chropowatości, wagi przemysłowe, narzędzia, viskozymetry laboratoryjne i przemysłowe oraz wiele innych urządzeń związanych z kontrolą jakości i pomiarami. Kieleckie targi **CONTROL-TECH** to doskonałe połączenie świata nauki i biznesu.



Honorowy patronat nad wystawą objęło Polskie Centrum Badań i Certyfikacji oraz Główny Urząd Miar.

W ramach targów **CONTROL-TECH** odbyło się organizowane przez Politechnikę Świętokrzyską Sympozjum pod tytułem **"Współczesne problemy metrologii w budowie maszyn"**. Podczas wystawy zorganizowano także seminarium na temat **oprogramowania do analizy i rejestracji danych pomiarowych**.

Opracowanie: Redakcja PAK