

Łukasz ZAWORSKI, Marcin KOWALSKI, Marek ZIELIŃSKI

WYDZIAŁ FIZYKI, ASTRONOMII I INFORMATYKI STOSOWANEJ UMK,
uL. Grudziądzka 5, 87-100 Toruń

Zastosowanie układów FPGA w konstrukcji przepływomierzy ultradźwiękowych

Mgr inż. Łukasz ZAWORSKI

W 2006 r. ukończył studia magisterskie na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu i kontynuuje naukę w Studium Doktoranckim przy Instytucie Fizyki UMK. W tym samym roku rozpoczął współpracę z firmą APATOR S.A. Obszar zainteresowań naukowych to zagadnienia związane z pomiarem mediów, w szczególności ultradźwiękowym pomiarem przepływu cieczy.

e-mail: zawor@fizyka.umk.pl



Dr Marcin KOWALSKI

Studia magisterskie ukończone w 2000r. na Wydziale Fizyki Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. W 2009 r. obronił pracę doktorską na wydziale Elektrycznym Akademii Morskiej w Gdyni, obecnie adiunkt na Wydziale Fizyki Astronomii i Informatyki Stosowanej UMK w Toruniu. Główne kierunki zainteresowań to systemy generacji i pomiaru odcinka czasu i ich implementacja w strukturach programowalnych.

e-mail: markow@fizyka.umk.pl



Dr hab. inż. Marek ZIELIŃSKI

Od roku 2003 pracuje na stanowisku profesora nadzwyczajnego na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu gdzie jest kierownikiem zakładu Fizyki Technicznej i Zastosowań Fizyki oraz pełni funkcję kierownika Studium Politechnicznego. Dr hab. inż. Marek Zieliński zajmuje się: systemami pomiarowymi, pomiarami wielkości elektrycznych i nieelektrycznych. Jest członkiem IEEE oraz sekcji „Aparatury i Systemów Pomiarowych” Komitetu Metrologii i Aparatury Naukowej PAN.

e-mail: marziel@fizyka.umk.pl



Streszczenie

Przepływomierze ultradźwiękowe mierzące różnicę czasu przelotu impulsu przez medium stanowią jedną z dwóch najbardziej rozpowszechnionych grup przepływomierzy. W artykule tym została przedstawiona konstrukcja systemu pomiaru odcinka czasu zaimplementowanego w strukturze programowalnej FPGA jak również metoda kalibracji i wyznaczenia rozdzielczości przetwornika czas/cyfra w trakcie pomiaru. Takie rozwiązanie zapewnia niewrażliwość układu na czynniki zewnętrzne (temperatura), oraz skrócenie czasu pomiaru, a tym samym redukcję poboru energii, co jest atutem przy zasilaniu bateryjnym.

Słowa kluczowe: przepływomierz ultradźwiękowy, przetwornik czas-cyfra, układ programowalny, pomiar czasu.

Application of FPGA devices to ultrasonic flowmeter

Abstract

The ultrasonic flowmeter market is the fastest-growing market in any flowmeter type, and transit-time flowmeters have the largest share in that market. One of the fundamental parts of a transit-time ultrasonic flowmeter is a time measurement circuit, often implemented in CMOS ASIC. This paper describes an application of a low-power FPGA device to the transit-time flowmeter time measurement circuit. The main problem discussed in this work is calibration of a delay line in TDC implemented in a FPGA device. The time- and resource-consuming code density testing is undesirable for mass production devices. In this paper a fast and simple method for calibration is proposed. The method is based on measurement of the clock period length [5] and analysis of the data; therefore, it does not require implementation of any additional circuits in the device. A resolution of TDC is estimated by (2), when I_T is the largest state of a decoder in measurement series, and T_0 is clock period. The method uncertainty is larger than that of the code density test, but the method requires virtually no resources and takes less time - under certain conditions the calibration can be performed simultaneously with the measurement. At the end the measurement results and the conclusions are presented.

Keywords: ultrasonic flowmeter, time to digital converter, programmable logic device, time measurement.

1. Wstęp

Przepływomierze mierzące czas przejścia impulsu ultradźwiękowego (ang. „transit-time”) są jednym z dwóch najbardziej rozpowszechnionych typów przepływomierzy ultradźwiękowych. W odróżnieniu od drugiego typu, przepływomierzy dopplerowskich, pozwalają na dokładny pomiar przepływu mediów, w których rozchodzą się fale ultradźwiękowe, nie unoszących frakcji stałej/gazowej.

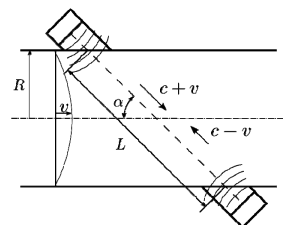
Działanie ich opiera się na zasadzie pomiarów czasów przejścia impulsu ultradźwiękowego po danej drodze, w kierunku zgodnym i przeciwnym do kierunku przepływu. Na podstawie tych pomiarów wyznaczana jest średnia prędkość przepływu ośrodka na drodze ultradźwiękowej. Po uwzględnieniu zależności pomiędzy tą prędkością, a średnią prędkością w przekroju przewodu, można wyznaczyć strumień przepływu.

2. Przepływomierze ultradźwiękowe

Na podstawie pomiarów czasów przejścia fali ultradźwiękowej zgodnie i przeciwnie do kierunku przepływu (odpowiednio t_1 i t_2) pomiędzy przetwornikami ultradźwiękowymi po drodze L (Rys. 1) możliwe jest wyznaczenie średniej prędkości przepływu na drodze L :

$$v_L = \frac{L}{2 \cos \alpha} \left(\frac{t_2 - t_1}{t_1 t_2} \right) = \frac{L}{2 \cos \alpha} \left(\frac{\Delta t}{t_1 t_2} \right). \quad (1)$$

gdzie: v_L – średnia prędkość przepływu na drodze L , α – kąt pomiędzy wektorem prędkości przepływu a drogą L (rys. 1).



Rys. 1. Schemat czujnika pomiarowego przepływomierza ultradźwiękowego
Fig. 1. Schematic diagram of the ultrasonic flowmeter sensor

Ponieważ iloczyn $t_1 t_2$ jest praktycznie stały w danej temperaturze, można stwierdzić, że Δt liniowo zależy od prędkości przepływu.

Zakładana rozdzielczość potrzebna do pomiaru małych prędkości przepływu, rzędu 6 cm/s, zależy od geometrii przepływomierza. Szacunkowo powinna być ona większa, niż 50 ps.

W celu zmniejszenia niepewności pomiaru zastosować można metodę „krążącego impulsu” (ang. sing around), której mierzone są łączne czasy $\mathcal{G}_1/\mathcal{G}_2$ przejścia K impulsów ultradźwiękowych po drodze L . Relację wiążącą łączny czas przejścia impulsów \mathcal{G}_1 po drodze L z pojedynczym czasem przelotu impulsu można opisać w następujący sposób:

$$\mathcal{G}_i = Kt_i, i = 1, 2. \quad (2)$$

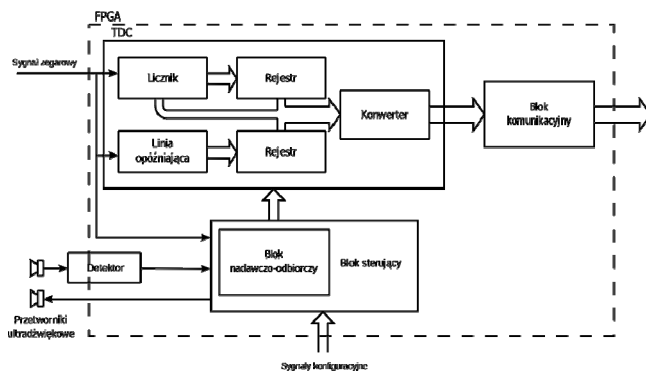
Zakładając pomiar odcinka czasu z rozdzielczością q , niepewność σ_{kwan_g} wynikająca z kwantyzacji jest niezależna od K . Stąd uzyskiwane jest zmniejszenie niepewności σ_{kwan_t} wyznaczanego odcinka czasu t_i , wraz ze wzrostem K :

$$\sigma_{kwan_t} = \frac{1}{K} \sigma_{kwan_g}. \quad (3)$$

3. Układ pomiaru czasu implementowany w strukturze FPGA

Układ pomiaru czasu przejścia impulsu pomiędzy przetwornikami ultradźwiękowymi jest jedną z podstawowych części przepływomierza ultradźwiękowego. Dokładność pomiaru czasu ma bezpośredni wpływ na możliwą do uzyskania dokładność pomiaru przepływu. Zakładana rozdzielczość pomiaru czasu dla przepływomierza o strumieniu nominalnym $q = 6 \text{ m}^3/\text{h}$, wynosi ok. 40 ps. Ponieważ często od przepływomierzy ultradźwiękowych wymagane jest zasilanie bateryjne, nakłada to dodatkowe wymagania na pobór energii układu elektronicznego.

Ze względu na ograniczenie poboru energii, do implementacji wybrano układ z rodziny Actel IGLOO, dedykowanej do zastosowań przemysłowych.



Rys. 2. Schemat blokowy układu
Fig. 2. Block diagram of the measurement system

Schemat blokowy układu pomiaru czasu dla przepływomierza ultradźwiękowego przedstawiono na rys. 2. Główną częścią układu pomiaru czasu jest przetwornik czas/cyfra, który mierzy różnicę czasu pomiędzy dwoma zdarzeniami fizycznymi, wyznaczającymi odcinek czasu. Sterowany jest przez układ nadawczo-odbiorczy, który wytwarza sygnały wzbudzające przetwornik ultradźwiękowy, pełniący rolę nadajnika, i odbiornika. Wyniki pomiarów przesyłane są z wykorzystaniem magistrali RS-232 do komputera.

W układzie zaimplementowana została metoda czasowo-impulsowa, połączona z metodą krążącego impulsu, zastosowaną w celu zmniejszenia niepewności pomiaru pojedynczego przejścia impulsu ultradźwiękowego pomiędzy nadajnikiem, a odbiornikiem. Początek pomiaru czasu jest określony wzbudzeniem nadajnika ultradźwiękowego. Odebranie go przez odbiornik, po przejściu drogi akustycznej L , powoduje automatyczne wzbudzenie

nadajnika. To automatyczne wyzwolenie wzbudzenia nadajnika powtarzane jest $K-1$ razy. Odebranie K -tego impulsu ultradźwiękowego określa koniec mierzonego odcinka czasu.

Przetwornik czas/cyfra zbudowany jest z licznika binarnego, oraz interpolatora opartego na linii opóźniającej. Początek mierzonego odcinka czasu jest ściśle określony przez wzbudzenie nadajnika ultradźwiękowego i można go zsynchronizować ze zboczem sygnału zegarowego. Faza sygnału zegarowego, propagującego się w linii opóźniającej w chwili zatrzymania pomiaru (zapisana w zatraskach D) jest w postaci kodu pseudotermometrycznego, który konwertowany jest do liczby binarnej przez układ dekodera. Numer komórki, której odpowiada zmiana stanu z „0” na „1” jest interpretowany jako faza sygnału zegarowego w chwili zatrzymania pomiaru. W przypadku, gdy w linii znajdują się dwa zbocza, priorytet ma to, które znajduje się bliżej początku linii opóźniającej.

W ogólności moment zakończenia pomiaru jest asynchroniczny w stosunku do podstawy czasu systemu i może on wystąpić podczas inkrementacji licznika. W rezultacie otrzymuje się nieprawidłową wartość. Dlatego aby nie popełnić w takiej sytuacji błędu, każde zbocze opadające sygnału zegarowego przepisuje stan licznika Q do rejestru. Następnie w zależności od stanu interpolatora, jako wynik pomiaru wybierany jest stan licznika Q , lub stan rejestru Q_R , powiększony o jeden.

4. Metoda kalibracji i wyznaczenia szerokości kanałów czasowych

Interpretacja wyniku pomiaru może być oparta na znajomości charakterystyki interpolatora, wiąże się to jednak z przeprowadzeniem czasochłonnego badania każdego egzemplarza urządzenia. Możliwa jest jednak automatyczna kalibracja linii, dzięki której można wyznaczyć średnie opóźnienie komórki bez przeprowadzania testów statystycznych [5]. Metoda ta polega na zmierzeniu długości jednego okresu zegara wykorzystując bezpośrednio linię opóźniającą. Długość linii w danych warunkach pomiaru powinna być większa, niż jeden okres sygnału zegarowego. W wyniku takiej procedury, średnie opóźnienie komórki linii równe jest:

$$\tau = \frac{T_0}{I_2 - I_1}, \quad (4)$$

gdzie: I_1, I_2 , są numerami komórek linii, w których zapisano dwa kolejne zbocza sygnału zegarowego, który się w niej propaguje.

Autorzy proponują inne podejście, pozwalające na zgrubne wyznaczenie rozdzielczości linii opóźniającej. W przypadku, gdy zakres linii opóźniającej jest na tyle duży, że pokrywa jeden okres zegara w każdych warunkach zewnętrznych, dekodery stanu działa na przedstawionej powyżej zasadzie (tj. zbocze wykryte na początku linii ma priorytet nad zboczem, które zapamiętane zostało w dalszej części linii), a mierzony odcinek czasu charakteryzuje się zmiennością co najmniej porównywalną z jednym okresem sygnału zegarowego T_0 , to w danych warunkach największy stan linii I_T otrzymany z dekodera i pojawiający się w zebranych stemplach czasowych, koduje długość okresu zegara referencyjnego w linii opóźniającej. Wówczas średnie opóźnienie komórki może być oszacowane w następujący sposób:

$$\tau = \frac{T_0}{I_T}. \quad (5)$$

W celu wyznaczenia rozdzielczości należy wielokrotnie zmierzyć odcinek czasu, charakteryzujący się fluktuacjami długości porównywalnym z okresem sygnału zegarowego, określić I_T i na tej podstawie przyjąć średnią rozdzielczość interpolatora.

Rozwiązanie to nie jest w stanie zastąpić metod statystycznych, których zastosowanie pozwala na osiągnięcie mniejszych niepewności pomiaru, jednak metoda ta pozwala na bardzo szybkie osza-

cowanie rozdzielczości linii opóźniającej przez samą analizę wyników pomiarów, bez konieczności implementacji jakichkolwiek dodatkowych układów w strukturze FPGA.

Ponieważ metoda ta opiera się wyłącznie na analizie wyników pomiarów może być, w sprzyjających okolicznościach, takich jak pomiary charakteryzujące się dużym rozrzutem wyników, stosowana na bieżąco podczas pracy, na etapie interpretacji wyników. Takie wykorzystanie tej metody umożliwia także w nieznanymi warunkach skorygowanie wpływu temperatury na rozdzielczość interpolatora. Wymaganiem warunkiem poprawnego działania tej metody jest duży rozrzut wykonywanych pomiarów

Dla linii zaimplementowanej w układzie, $I_T=27$, a niepewność związana z kwantyzacją wynosi:

$$\sigma_{kwan} = \frac{1}{\sqrt{12}} \frac{T_0}{I_T} = 194,9 ps. \quad (6)$$

W przypadku oszacowania rozdzielczości przez metodę szybkiego wyznaczania rozdzielczości, wynik pomiaru odcinka czasu może być wyznaczony na podstawie zależności:

$$t_i = N \cdot T_0 + (I - \frac{1}{2}) \cdot \frac{T_0}{I_T}. \quad (7)$$

Ze względu na możliwy do popełnienia błąd podczas kalibracji z wykorzystaniem szybkiej metody wyznaczania rozdzielczości, uwzględnąć należy także niepewność tym spowodowaną. Błąd graniczny wyznaczenia średniej rozdzielczości interpolatora związany jest z zawyżeniem, lub zaniżeniem I_T o jeden, i w przybliżeniu można przyjąć, że całkowite opóźnienie linii jest zawyżone lub zaniżone o średnią szerokość kanału $\tau = \frac{T_0}{I_T}$. Błąd nieliniowości różnicowej J -tego kanału, związany z metodą szybkiego wyznaczania rozdzielczości interpolatora Δ_{DSWR} oszacować można przez rozłożenie τ na wszystkich kanałach interpolatora, co opisuje następująca relacja:

$$\Delta_{DSWR_J} = \Delta_{DSWR} = \frac{\tau}{I_T} = \frac{T_0}{I_T^2}, J=1,2,\dots,I_T. \quad (8)$$

W przypadku błędu nieliniowości sumacyjnej, błąd ten zwiększa się wraz z numerem kanału interpolatora, i dla J -tego kanału można go opisać zależnością:

$$\Delta_{ISWR_J} = \sum_{k=1}^J \Delta_{DSWR_k} = J \cdot \frac{T_0}{I_T^2}, J=1,2,\dots,I_T. \quad (9)$$

W najgorszym przypadku, dla ostatniego przedziału kwantowania interpolatora ($J = I_T$), błąd nieliniowości sumacyjnej pojedynczego pomiaru jest więc równy średniej rozdzielczości interpolatora.

Na podstawie powyższych wzorów oszacować można niepewność. Ponieważ nie wiadomo, jaki jest rzeczywisty błąd Δ_{DSWR} , a nie można wyróżnić żadnych uprzywilejowanych przypadków, można założyć równomierny rozkład błędu (dla I -tej komórki) w granicach $\pm \Delta_{DSWR}$. Stąd:

$$\sigma_{DSWR_J} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{T_0}{I_T^2}, J=1,2,\dots,I_T. \quad (10)$$

Na tej podstawie wyznaczyć można niepewność σ_{ISWR_J} , dla J -tego przedziału interpolatora:

$$\sigma_{ISWR_J} = \frac{J}{\sqrt{3}} \frac{T_0}{I_T^2}, J=1,2,\dots,I_T. \quad (11)$$

Aby wyznaczyć niepewność σ_{ISWR} pomiaru, należy obliczyć jej wartość średniokwadratową po wszystkich przedziałach interpolacji:

$$\sigma_{ISWR} = \sqrt{\frac{1}{I_T} \sum_{J=1}^{I_T} \frac{J^2 T_0^2}{3 I_T^4}}. \quad (12)$$

Dla zaprojektowanego interpolatora, $\sigma_{ISWR} = 264,3 ps$.

Łączna niepewność σ_{TDC} w opisywanym przypadku opisana jest wzorem:

$$\sigma_{TDC} = \sqrt{\sigma_{kwan}^2 + \sigma_{ISWR}^2}, \quad (13)$$

i jest równa 328,4 ps.

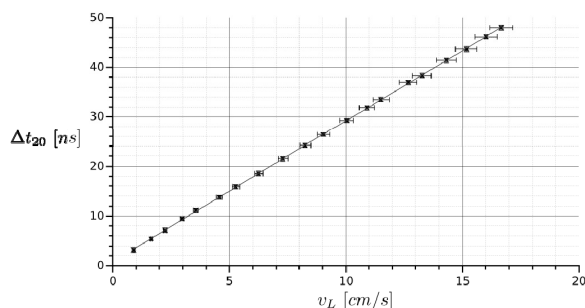
5. Wyniki pomiarów

W celu weryfikacji działania układu pomiarowego, zbudowane zostało stanowisko do pomiaru czasu przejścia impulsu ultradźwiękowego po drodze akustycznej w wodzie. System pomiarowy połączono z korpusem przepływomierza ultradźwiękowego w układzie jednokanałowym, jednodrogowym. Średnica wewnętrzna korpusu wynosi $d=34 mm$.

Korpus z sondami ultradźwiękowymi zamontowano na prostym stanowisku do pomiaru przepływu. Ruch wody wymuszany jest przez pompę obiegową, a strumień przepływu regulowany jest ręcznie, za pomocą trójdrogowego zaworu rozdzielającego. Na stanowisku znajduje się korpus z sondami ultradźwiękowymi i przepływomierz wirnikowy PoWoGaz JS90-1,5-NC, o strumieniu nominalnym 1,5 m³/h i błędzie maksymalnym 3%. Przepływomierz posiada wyjście impulsowe o stałej impulsowania 1 dm³/imp.

Działanie układu sprawdzono przeprowadzając pomiary czasów \mathcal{G}_1 i \mathcal{G}_2 dla prędkości przepływu medium $v = 0$ i $K=20$, dla zadanych prędkości przepływu. Dla zadanego przepływu, w ciągu 3 - 6 minut mierzono objętość przepływomierzem PoWoGaz JS90-1,5-NC, i jednocześnie wykonywano serię 50 pomiarów odcinków czasu. Na podstawie pomiaru czasu i objętości przepływomierzem mechanicznym, wyznaczono strumień przepływu q . Pomiary wykonano dla zakresu przepływów 40 dm³/h do 800 dm³/h, co odpowiada prędkościom z zakresu od 1 cm/s do 17 cm/s.

Zakładając stałą temperaturę oraz stałe wymiary przetwornika pomiarowego przepływomierza (ze względu na stałą temperaturę wpływ rozszerzalności cieplnej materiału jest pomijalny), ze wzoru (1) wynika, że zależność $\Delta t_{20}(v_L)$ powinna być liniowa.



Rys. 3. Zależność różnicy czasów Δt_{20} w funkcji prędkości przepływu
Fig. 3. Transit time difference Δt_{20} as a function of the flow velocity

Z otrzymanych wyników pomiarów wyznaczono wielkość Δt_{20} i przedstawiono ją w funkcji prędkości v na rys. 3. Do otrzymanej zależności dopasowano funkcję liniową, współczynnik determinacji wynosi $R^2 = 0,99994$, zależność jest więc bardzo bliska liniowej, co potwierdza poprawne działanie układu.

6. Wnioski

Zastosowanie do budowy układu przepływomierza ultradźwiękowego układu programowalnego FPGA, w odróżnieniu od układów specjalizowanych, pozwala na skrócenie czasu projektowania, redukcję kosztów, możliwość modyfikacji i sprawdzenia działania podczas pracy na stanowisku.

Zbudowany układ, dzięki implementacji metody krążącego impulsu, pozwala na pomiar odcinka czasu z rozdzielczością 20 ps przy krotności powtórzeń $K=20$.

Zaproponowana metoda kalibracji i wyznaczania szerokości kanału czasowego umożliwia w prosty sposób redukcję wpływu czynników zewnętrznych (temperatury) na wynik pomiaru.

Praca finansowana przez Komitet Badań Naukowych N N505 484540.

7. Literatura

- [1] Baker R. C.: Flow measurement handbook: industrial designs, operating principles, performance, and applications. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2005.
- [2] Hard J. E. et al.: Flow measurement methods and application. Wiley - IEEE, 1999.
- [3] Lynnworth L. C., Papadakis E. P.: Ultrasonic Measurements for Process Control: Theory, Techniques, Applications. Academic Press, Inc., 1990.
- [4] Waluś S.: Przepływomierze ultradźwiękowe. Metodyka stosowania. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1997.
- [5] Wu J., et al.: Firmware-only implementation of time-to-digital converter (TDC) in field-programmable gate array (FPGA), Nuclear Science Symposium Conference, 2003 IEEE.

otrzymano / received: 28.09.2011

przyjęto do druku / accepted: 02.11.2011

artykuł recenzowany

INFORMACJE

XVII Międzynarodowe Seminarium Metrologów

Metody i Technika Przetwarzania Sygnałów w Pomiarach Fizycznych
Gdańsk – Karlskrona 20-22 października 2011

Międzynarodowe Seminarium Metrologów (MSM) jest cykliczną imprezą organizowaną od 1993 r. w ramach współpracy Katedry Metrologii i Systemów Diagnostycznych Politechniki Rzeszowskiej i Katedry Technologii Informacyjno-Pomiarowych Politechniki Lwowskiej. Celem MSM jest wymiana doświadczeń naukowych i dydaktycznych oraz rozwijanie współpracy w tym zakresie pomiędzy uczestniczącymi w konferencji przedstawicielami uczelni krajowych i zagranicznych. XVII Seminarium było imprezą szczególną, gdyż do grona organizatorów w tym roku dołączyły nowe uczelnie i osoby: Blekinge Institute of Technology w szwedzkiej Karlskronie (prof. Wlodek Kulesza), Politechnika Gdańska (prof. Dariusz Świsulski) i Akademia Morska w Gdyni (prof. Janusz Mindykowski). Umożliwiło to przygotowanie i realizację programu MSM na terenie tych uczelni. Pracami Komitetu Naukowego Seminarium kierował prof. Bohdan Stadnyk, a Komitetu Organizacyjnego prof. Adam Kowalczyk.



Wspólne zdjęcie uczestników pierwszej sesji obrad XVII MSM w Politechnice Gdańskiej

W tym roku w MSM wzięło udział ponad 50 naukowców z kilkunastu uczelni krajowych i zagranicznych (m.in. ze Lwowa, Karlskrony, Suzhou, Warszawy, Krakowa, Wrocławia, Poznania, Gliwic, Gdańska, Gdyni, Szczecina, Opola, Lublina, Rzeszowa, Torunia, Radomia, Kielc, Bielska-Białej). Uroczystość otwarcia konferencji uświetnili swoją obecnością przedstawiciele władz Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej

oraz naukowcy zasłużyli dla rozwoju metrologii. W trakcie obrad w pięciu sekcjach plenarnych i plakatowej, które odbyły się w Politechnice Gdańskiej i Blekinge Institute of Technology, przedstawiono 47 prac. Obradom w sesjach przewodniczyli profesorowie: Dariusz Świsulski, Janusz Mindykowski, Wlodek Kulesza, Wiesław Winiecki, Jihua Gu, Orest Ivakhiv i Adam Kowalczyk. Tematyka prezentowanych referatów tradycyjnie zawierała się w czterech obszarach: czujniki i przetworniki pomiarowe, przetwarzanie sygnałów, systemy pomiarowo-diagnostyczne i dydaktyka metrologii. Pełne teksty wybranych prac zostaną opublikowane w krajowych czasopiśmie naukowo-technicznych. W ramach prezentacji firmowych przedstawiciel National Instruments omówił ofertę najnowszego sprzętu i oprogramowania do akwizycji oraz analizy danych pomiarowych, a wśród uczestników seminarium rozlosowano dwa moduły pomiarowe ufundowane przez NI. Uczestnicy MSM mieli możliwość zapoznania się z historią i bieżącą działalnością w zakresie metrologii Politechniki Gdańskiej i Blekinge Institute of Technology, oraz zwiedzenia wybranych laboratoriów tych uczelni. Dużą atrakcją stanowiło również zwiedzanie planetarium oraz symulatorów mostków kapitańskich na Wydziale Nawigacyjnym Akademii Morskiej w Gdyni. W ramach programu kulturalnego zorganizowano wycieczkę po Karlskronie, gdzie zwiedzono m.in. Muzeum Morskie. Interesujące i atrakcyjne były także same rejsy promem na trasie Gdynia-Karlskrona i następnego dnia Karlskrona-Gdynia, sprzyjające integracji i nawiązywaniu kontaktów naukowych oraz koleżeńskich. Na pokładzie promu zorganizowano również tradycyjną uroczystą kolację.

Konferencja spełniła całkowicie cele merytoryczne i wzbogaciła doświadczenia zawodowe (i często także turystyczne) uczestników, a program Seminarium uznano za bardzo atrakcyjny.

Organizatorzy MSM planują realizację kolejnego Seminarium we wrześniu 2012 roku we Lwowie.

Opracowanie: dr inż. Robert Hanus
Sekretarz naukowy MSM

(Fotoreportaż z XVII MSM zamieszczono na II stronie okładki)