

Mgr inż. Marcin Grajewski
Zakład Elektroniki Górniczej w Tychach,
Mgr inż. Michał Borsuk, dr inż. Stanisław Waluś
Politechnika Śląska w Gliwicach,
Instytut Automatyki, Zakład Systemów Pomiarowych

ZASTOSOWANIE SYSTEMU BITBUS DO ZBIERANIA I PRZETWARZANIA DANYCH POMIAROWYCH NA STANOWISKU BADAWCZYM PRZEPLYWOMIERZY

Streszczenie: W pracy przedstawiono cele automatyzacji stanowiska pomiarowego do badania przepływomierzy wody, dokonano doboru systemu pomiarowego i opisano właściwości systemu BITBUS. Przedstawiono obsługę i oprogramowanie systemu, które umożliwia zarówno zbieranie danych pomiarowych jak i ich opracowywanie oraz prezentację graficzną aproksymowanych charakterystyk. Przedstawiono wyniki badania trzech przepływomierzy: zwezkowego, ultradźwiękowego i Coriolisa.

Abstract: The paper presents the goals of automation of the measuring stand for testing water flow meters, the evaluation of measuring systems and description of BITBUS system. The maintaining and system software are introduced. The work out software enables gathering and handling of measuring data, and presenting of approximated characteristics. The results of testing of three flowmeters (orifice, ultrasonic and Coriolis) are presented.

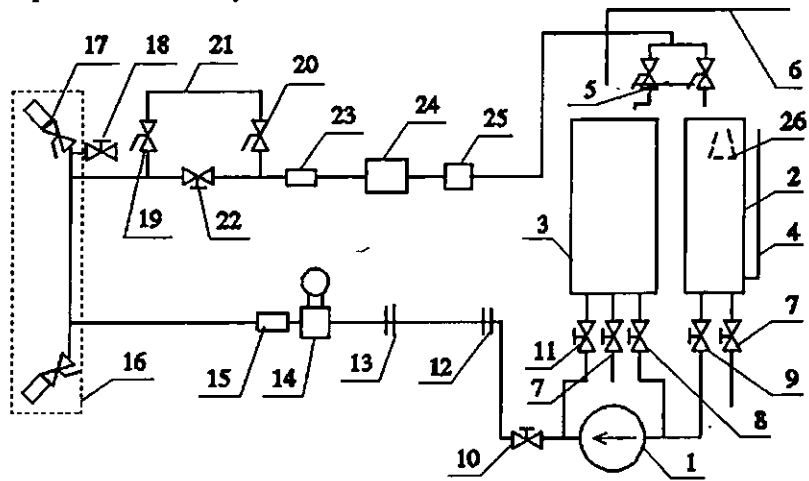
1. WPROWADZENIE

Celem pracy była analiza możliwości zastosowania systemu pomiarowego do zbierania i przetwarzania danych pomiarowych na stanowisku do badania przepływomierzy wody. Coraz więcej stanowisk tego typu jest komputeryzowanych [7, 8, 9, 10] za pomocą różnych systemów [13, 16] i postuluje się stworzenie uniwersalnego interfejsu [6]. Stanowisko badawcze wchodzi w skład laboratorium miernictwa przemysłowego, w którym zostało zrealizowanych szereg prac dyplomowych zgodnie z metodyką przedstawioną w [15]. Automatyzacja pozwala na usprawnienie wykonywania ćwiczeń i zapoznanie się ze stosowaniem konkretnego systemu pomiarowego w praktyce.

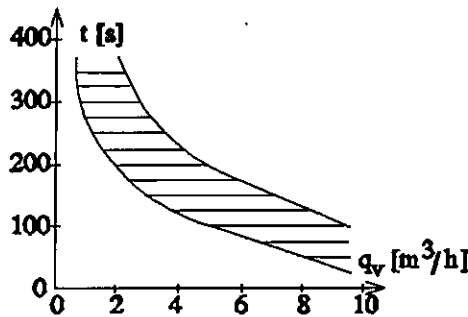
2. ZAŁOŻENIA I CELE AUTOMATYZACJI STANOWISKA

Zakłada się, że dobrany system powinien umożliwiać pracę z komputerem klasy IBM, komputerowe sterowanie procesem pomiarowym, graficzną prezentację wyników, przetwarzanie wyników pomiarów i rejestrację rezultatów przetwarzania. Na rys. 1 przedstawiono schemat instalacji do sprawdzania i wzorcowania przepływomierzy wody. Zakłada się, że stanowisko powinno zapewnić odtwarzanie wielkości wzorcowej z błędem nie większym niż 0,2 %. Na podstawie parametrów technicznych stanowiska [14] określono zakres stosowalności

stanowiska (czas pomiaru dla określonego strumienia objętości jest ograniczony z góry pojemnością zbiornika miarowego, z dołu wymaganą dokładnością wzorcowania) i wyniki obliczeń przedstawiono na rys. 2.



Rys. 1. Schemat instalacji do badania przepływomierzy wody



Rys. 2. Zakres stosowności stanowiska

Pompa (1 na rys.1) służy do przepompowywania wody ze zbiornika pomiarowego do pomocniczego i na odwrót. Poziom wody w zbiorniku pomiarowym jest odczytywany za pomocą wodowskazu (4). Zmianę kierunku strugi uzyskuje się za pomocą zmiennika (5) wyposażonego w styki do systemu komputerowego. Stanowisko jest zasilane z instalacji wodociągowej (6) i może być opróżniane za pomocą zaworów (7), natomiast zawory (8,9,10 i 11) służą do sterowania pracą instalacji. W instalacji zabudowane są kryzy znormalizowane (12

i 13), przepływomierze elektromagnetyczne (14,24,25), wodomierz wirnikowy (15), czujnik przepływomierza ultradźwiękowego (16) zawierający dwie głowice (17) i wyposażony w zawór odpowietrzający (18). Zawory (19,20, 22) umożliwiają zabudowanie zamiast bocznika (21) innego przepływomierza - dla celów badawczych był zabudowany przepływomierz Coriolisa. W instalacji zabudowany jest czujnik przepływomierza turbinowego (23) i poziomierza ultradźwiękowego (26).

Sformułowano następujące założenia do automatyzacji: możliwość etapowej rozbudowy stanowiska, koszt elementów nie może przekraczać posiadanych środków, łatwość obsługi stanowiska, przystosowanie wyjść przyrządów pomiarowych do wybranego systemu pomiarowego, rozwiązanie zadania pomiaru czasu napełniania zbiornika pomiarowego. Cele automatyzacji są następujące: obliczenie minimalnego czasu napełnienia zbiornika pomiarowego na podstawie założonego strumienia objętości i dokładności wielkości wzorcowej, zbieranie danych z jednego lub kilku przetworników pomiarowych z określoną częstotliwością próbkowania, wyznaczenie liczebności serii pomiarowej w celu uzyskania

określonego odchylenia standardowego wartości średniej, eliminacja błędów grubych i sprawdzanie jednorodności serii, aproksymacja charakterystyki danego przepływomierza i prezentacja graficzna uzyskanych wyników.

3. DOBÓR SYSTEMU POMIAROWEGO

Wzięto pod uwagę [5] kilka systemów pomiarowych, jakie mogłyby być zastosowane (CAMAC, IEC 625, MULTIBUS, FASTBUS, BITBUS [1, 11]), chociaż mogłyby być zastosowane również inne [6]. W [5] opisano szczegółowo wymienione systemy pod kątem zastosowania do realizacji zadania pomiarowego na stanowisku, natomiast w tabelicy 1 zestawiono charakterystyczne wielkości.

System	CAMAC	IEC 625	MULTIBUS	FASTBUS	BITBUS
Transmisja	r/s	r	r	r	s
Szybkość transmisji (maks.)	2,2 Mb/s	8 Mb/s	16 Mb/s	370 Mb/s	2,4 Mb/s
Liczba połączeń przewodowych	123/3	16	97	89/59	4
Odległości	< 10 m	< 20 m	?	< 10 m	> 2000 m
Liczba modułów (maksymalna)	24/k	15	21/k	?	250 *
Konstrukcja mechaniczna	kaseta	indywid.	kaseta	kaseta/ indywid.	indywid.

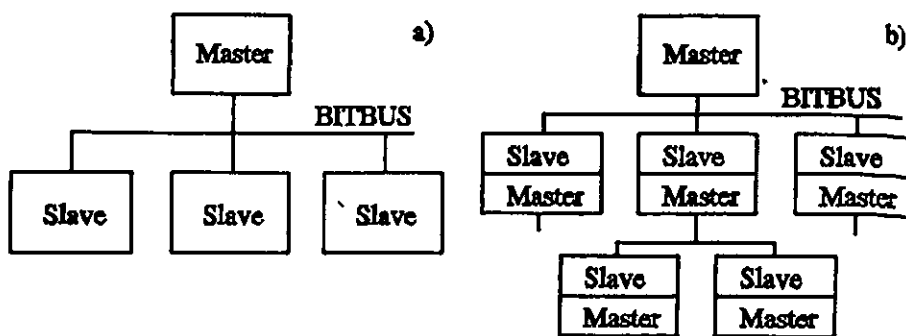
Tablica 1. Podstawowe dane systemów: r - równoległa, s - szeregowo, n/k - liczba modułów w kasecie, * - liczba modułów w jednym poziomie, ? - brak danych

Z przedstawionych danych wynika, że najszybsza transmisja jest w systemie FASTBUS, jednak do połączeń konieczna jest duża liczba przewodów i zasięg systemu jest mały. System CAMAC wymaga kasety z zasilaczem i blokiem sterującym oraz odpowiedniej karty instalowanej w komputerze. Kasety nie wymaga system oparty na interfejsie IEC-625, jednak występuje tu ograniczenie liczby elementów podłączonych do magistrali. System BITBUS jest łatwy do rozbudowy i dla najprostszego układu wymagany jest tylko jeden blok sterujący i jeden wykonawczy. Zdecydowano się na wybór tego interfejsu.

4. WŁAŚCIWOŚCI SYSTEMU BITBUS

4.1. Opis funkcjonalny systemu

System BITBUS [1] umożliwia tworzenie struktur jednopoziomowych lub wielopoziomowych (rys. 3). System oparty na modelu jednopoziomowym składa się z jednego modułu sterującego (Master) i od 1 do 250 modułów wykonawczych (Slave). W tak zbudowanym systemie moduły pracują w tym samym trybie. System zbudowany w oparciu o model wielopoziomowy może składać się z wielu systemów jednopoziomowych. Rozróżnia się dwa tryby pracy: synchroniczny i samotaktowania. Tryb synchroniczny umożliwia komunikację z 28 modułami na odległości do 30 metrów z szybkością 500 kb/s a 2,4 Mb/s. Tryb samotaktowania umożliwia komunikację ze standardowymi szybkościami 375 lub 62,5 kb/s.



Rys. 3. System BITBUS: a) model jednopoziomowy, b) model wielopoziomowy

4.2. Protokół komunikacji i moduły systemu BITBUS

Do łączności między programami uruchamianymi w modułach i do przesyłania danych służą komunikaty (message). Dzieli się one na polecenia (order), które wysyła program działający w module sterującym do programów w modułach wykonawczych oraz odpowiedzi (reply) wysyłane przez programy z modułów wykonawczych.

Moduły systemu zbudowane są w oparciu o mikrokomputer jednoukładowy 8044, który jest specjalną wersją mikrokomputerów serii MCS-51. Mikrokomputer 8044 posiada wbudowany w pamięć wewnętrzną ROM system umożliwiający komunikację, uruchamianie i zarządzanie programami użytkownika.

Moduł iPCX 344 (sterownik - "master") umożliwia współpracę komputera z systemem BITBUS oraz steruje pracą systemu. Komunikacja modułu z komputerem odbywa się przez trzy porty o adresach 208H - port danych, 20AH - port poleceń, 20CH - port statusu. Moduł posiada pamięć programu i pamięć danych o pojemności 2 kB każda. Transmisja na magistrali odbywa się z szybkością 375 kb/s w trybie samotaktowania bez wtórników.

Moduł iRCB 44/20 (moduł wejść/wyjść analogowych) zawiera zainstalowaną pamięć danych o pojemności 32 kB. Liczba wejść analogowych napięciowych wynosi 16. Zakres napięcia wejściowego przy wzmacnieniu 1 wynosi 0 - +5V.

Moduł iRCB 44/10 (moduł wejść/wyjść cyfrowych) posiada dwa równoległe 8-bitowe porty wejścia/wyjścia, jeden równoległy 8-bitowy port wejściowy oraz jeden port szeregowy. W module tym zainstalowana jest pamięć danych o pojemności 2 kB oraz pamięć programu o pojemności 8 kB.

W ramach realizacji pracy [5] wykonano zegar mierzący czas w zakresie 0 - 999999 ms z dokładnością 1 ms i moduł przetworników prąd - napięcie. Dane z zegara odczytywane są przez port A modułu wejść/wyjść cyfrowych w postaci bajtowo szeregowej.

4.3. Programy uruchamiane w modułach

W każdym module uruchamiany jest program wykonujący zadanie charakterystyczne dla danego modułu. Programy zostały napisane w assemblerze, skompilowane kompilatorem ASM51.exe i zamienione na pliki z kodem heksadecymalnym programem OH.exe. Program obsługujący moduł wejść/wyjść analogowych realizuje następujące zadania: analizuje i przekazuje parametry do poszczególnych rejestrów procesora, inicjuje konwersję w przetworniku A/C, przelacza kanały pomiarowe, odczytuje wyniki konwersji i przesyła do pamięci danych, sprawdza wielkość dostępnej pamięci danych, po całkowitym jej wypełnieniu wstrzymuje

współpracującej z wagą prądową WT-10. Wyraz "Wariancja" w tablicy raportu oznacza pierwiastek z odchylenia średniokwadratowego pojedynczego pomiaru.

RAPORT

Krzyża

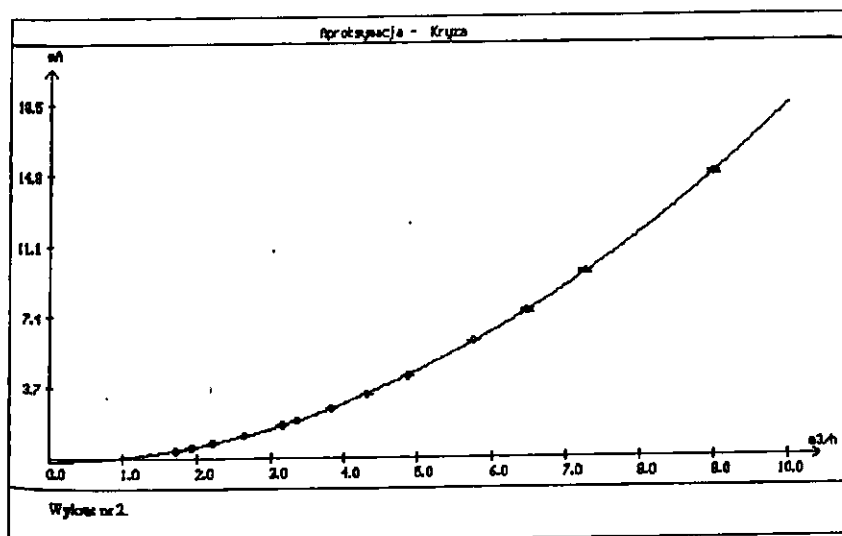
Czas pom. [ms]	Liczba pomiarów	Średnia	Wariancja	War. unorm. [%]	Przepływ obl [m ³ /h]
351596	4047	0.4144 mA	0.0313 mA	7.5487	1.71
200366	4045	0.5498 mA	0.0306 mA	5.5662	1.91
149897	4000	0.7689 mA	0.0313 mA	4.0753	2.20
147796	4061	1.1503 mA	0.0279 mA	2.4293	2.63
120356	3945	1.7024 mA	0.0278 mA	1.6349	3.14
113633	4044	1.9823 mA	0.0279 mA	1.4086	3.34
93335	3064	2.5749 mA	0.0286 mA	1.1120	3.82
86190	4022	3.3214 mA	0.0305 mA	0.9177	4.32
74515	3831	4.2741 mA	0.0334 mA	0.7825	4.88
75482	3930	6.0581 mA	0.0360 mA	0.5958	5.75
64376	3582	7.6003 mA	0.0441 mA	0.5805	6.46
56724	3721	9.6695 mA	0.0504 mA	0.5216	7.26
49320	3585	14.7720 mA	0.0690 mA	0.4671	8.96

Okres próbkowania dobierany automatycznie.

Dokładność wzorca 0.3%

Współczynniki charakterystyki: $A_0 = -0.146$ $A_1 = 0.011$ $A_2 = 0.185$

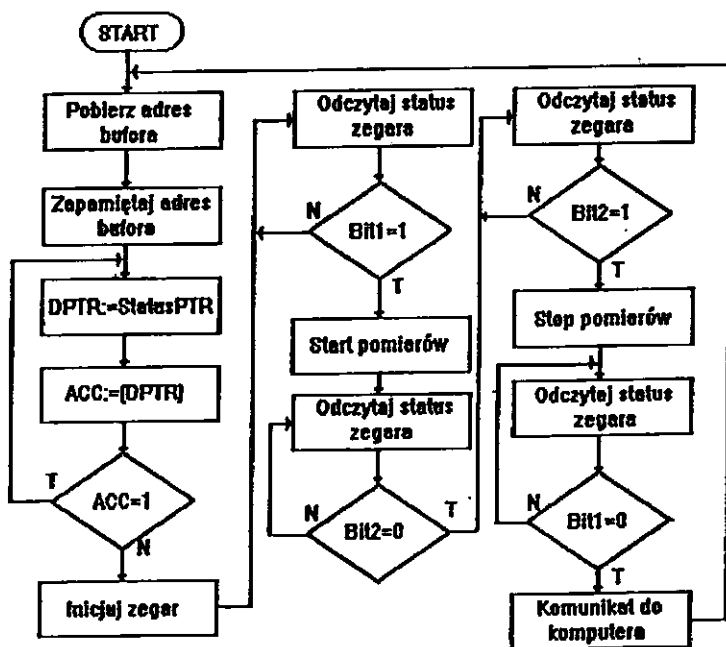
Charakterystyka na wykresie nr 2.



Rys. 5. Przykładowy raport z badania charakterystyki krzyży

Wariancję oblicza się w celu wyznaczenia minimalnej liczby pomiarów, dla której odchylenie średniokwadratowe wartości średniej, będzie pomijalnie małe w porównaniu z błędem badanego przepływomierza. Funkcja aproksymująca charakterystykę przepływomierza jest dana w postaci:

dalsze pomiary. Zadaniem programu obsługującego modul wejść/wyjść cyfrowych jest sterowanie pracą zegara, pomiar czasu przepływu oraz od-czytywanie danych i przesyłanie ich do pamięci. W module sterującym uruchamiany jest program zapewniający współpracę modułów wejść/wyjść cyfrowych i wejść/wyjść analogowych z pominięciem komputera. Program składa się z kilku procedur i na rys. 4 pokazano algorytm procedury PRG stanowiącej główną pętlę programu, w której wywoływane są pozostałe procedury.



Rys. 4. Algorytm procedury PRG

5. OPROGRAMOWANIE I OBSŁUGA STANOWISKA BADAWCZEGO

Oprogramowanie komputerowe automatyzowanego stanowiska napisano w języku Turbo Pascal v. 6.0 z wykorzystaniem biblioteki Turbo Vision [12, 17]. Program umożliwia:

- dobieranie parametrów pomiaru takich jak: dokładność pomiaru, numer kanału pomiarowego, liczba mierzonych kanałów, okres próbkowania,
- obliczanie objętości wody w zbiorniku miarowym, obliczenie strumienia objętości, wyznaczenia błędu bezwzględnego pomiaru objętości wody w zbiorniku miarowym, iteracyjne obliczanie czasu pomiaru dla zadanej dokładności wzorcowania,
- przesyłanie parametrów do systemu pomiarowego i inicjacje pomiaru,
- obliczenie wyników: filtracja, wartość średnia, wariancja, eliminacja błędów grubych, parametrów testu t - Studenta dla określenia czy dwie serie pochodzą z tej samej populacji (badanie stałości warunków pomiaru), aproksymacja danych pomiarowych wielomianami,
- tworzenie i zapamiętywanie raportu z przeprowadzonych pomiarów,
- graficzną prezentację sygnałów wejściowych i charakterystyki.

Na rys. 5 przedstawiono przykładowy wydruk raportu dla badań kryzy znormalizowanej

(1)

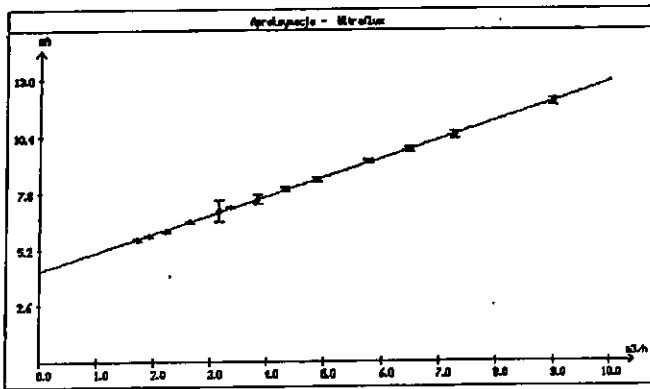
$$f(x) = a_0x^0 + a_1x^1 + \dots + a_mx^m$$

gdzie: m jest stopniem wielomianu aproksymującego.

Obliczenie współczynników a_0 do a_m odbywa się metodą eliminacji Jordana [4]. Korzystając z procedury aproksymacyjnej można obliczać wielomiany do 20 stopnia.

6. BADANIA PRZEPLYWOMIERZY

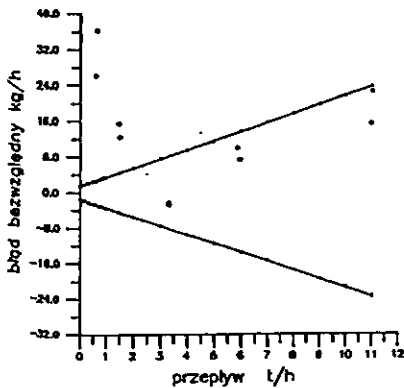
W trakcie realizacji pracy [5] badano charakterystyki kryzy współpracującej z waga prądową WT-10 oraz przepływomierza ultradźwiękowego UF-311. Na rys. 6 przedstawiono aproksymację charakterystyki przepływomierza ultradźwiękowego w liniowym części zakresu pomiarowego.



Rys. 6. Charakterystyka przepływomierza ultradźwiękowego UF-311

Za pomocą przedstawionego systemu badany był przepływomierz Coriolisa [2]. Wyniki badania przedstawiono na rys. 7, gdzie linią ciągłą zaznaczono granice błędu dopuszczalnego. Zakres przepływomierza wynosił 15 t/h i jak widać z rysunku dla wartości wskazań od 0,1 do końca zakresu pomiarowego błędy są mniejsze niż dopuszczone przez producenta.

Badania przepływomierza ultradźwiękowego UF-311 [3] w zakresie liczb Reynoldsa do 4000 pokazały, że w zakresie przepływu laminarnego uzyskuje się bardzo dobrą liniowość charakterystyki i tym samym możliwość pomiaru przy stosunku maksymalnego strumienia objętości do minimalnego wynoszącego 500 : 1.



Rys. 7. Charakterystyka błędu bezwzględnego

7. PODSUMOWANIE

Wybrany spośród kilku, ówczesnie znanych systemów pomiarowych - system - BITBUS pozwolił na realizację skomputeryzowanego stanowiska badawczego. Opracowane oprogramowanie podzielone zostało na kilkanaście modułów programowych co pozwala na dokonywanie zmian podczas realizacji nowych zadań pomiarowych. Przeprowadzone badania przepływomierza ultradźwiękowego [3] i Coriolisa [2] wskazują na przydatność systemu BITBUS do zastosowań w stacjach sprawdzania i wzorcowania przepływomierzy wody.

LITERATURA

- [1] BITBUS, materiały firmowe, Intel, 1986-1988.
- [2] Brzęcki J.: *Własności metrologiczne i eksploatacyjne przepływomierzy Coriolisa*; praca dyplomowa magisterska, Politechnika Śląska, Instytut Automatyki, Gliwice 1995.
- [3] Cieśla W.: *Pomiar małych strumieni objętości wody przepływomierzem ultradźwiękowym*; praca dypl. magisterska, Politechnika Śląska, Instytut Automatyki, Gliwice 1996.
- [4] Fortuna Z., Macukow B., Wąsowski J.: *Metody numeryczne*, WNT, Warszawa 1995.
- [5] Grajewski M.: *Automatyzacja stanowiska laboratoryjnego do badania przepływomierzy*, praca dypl. magisterska, Politechnika Śląska, Instytut Automatyki, Gliwice 1993.
- [6] Jachowicz R.S.: *Uniwersalny interfejs dla czujników inteligentnych*; VIII Krajowa Konferencja Metrologii, Warszawa, 18-20 października 1995, Tom I, str. 211-216.
- [7] Janusz B., Kaliczyńska M.: *Automatyzacja i wizualizacja laboratoryjnego stanowiska pomiarowego*; XXVIII Międzyuczelniana Konferencja Metrologów MKM'96, Częstochowa, 22-25 września 1996, Tom 1, str. 222-227.
- [8] Jasik R., Pawłowski E.: *Wspomagane komputerowo stanowisko dydaktyczne do pomiarów ilości ciepła*; XXVII Międzyuczelniana Konferencja Metrologów MKM'95, Zielona Góra, 21-23 września 1995, Tom 1, str. 136-143.
- [9] Kováč D.: *A simple automatized measuring system*; XXVIII Międzyuczelniana Konferencja Metrologów MKM'96, Częstochowa, 22-25.IX.1996, Tom 1, str. 311-316.
- [10] Kulikowski J.L.: *Komputery w badaniach doświadczalnych*, PWN, Warszawa 1993.
- [11] *Laboratorium systemów pomiarowych*, praca zbiorowa pod red. J. Sostela, Skrypty Uczelniane Nr 1743, Gliwice 1992.
- [12] Marciniak A.: *Turbo Pascal w wersji 6.0 z opisem biblioteki Turbo Vision*, NAKOM, Poznań, 1993.
- [13] Michta E.: *Stacje aktywne MINI Master w rozproszonym systemie pomiarowym z magistralą liniową*; XXVII Międzyuczelniana Konferencja Metrologów MKM'95, Zielona Góra, 21-23 września 1995, Tom 2, str. 248-255.
- [14] Niezgoda I.: *Zaprojektować, uruchomić i zbadać stanowisko laboratoryjne "Pomiar strumienia objętości wody"*, praca dyplomowa magisterska, Politechnika Śląska, Instytut Automatyki, Gliwice 1991.
- [15] Waluś S.: *Master's Thesis in Metrology*; Proceedings of the 2nd International Seminar, Measurement Systems and Networks, Gliwice, September, 24-25, 1992, pp. 174-176.
- [16] Waremczuk J., Zielenk S.: *Profibus - standard komunikacyjny czujników inteligentnych*; VIII Krajowa Konferencja Metrologii, Warszawa, 18-20.X.1995, Tom I, str. 289-284.
- [17] Zalewski A.: *Turbo Vision - programowanie systemów interakcyjnych w Turbo Pascalu*, NAKOM, Poznań, 1993.