

440

BE1

**ZAKŁAD POMIARU PARAMETRÓW PRZEPIYU**

Nazwa ONB/ZNB

Główny wykonawca **mgr inż. Tomasz Krakowiak**Wykonawcy: **dr inż. Wiesław Czerwiec****Piotr Dopierała**

**TEMAT: Różnicowanie systemów pomiarowych z komputerową akwizycją i przetwarzaniem wyników pomiarów pod względem konfiguracji, komponentów, metod komunikacji i wizualizacji oraz błędów przetwarzania**

(Tytuł pracy, numer i tytuł etapu)

Zleceniodawca

PIAP

Kierownik Zakładu DPQ

mgr inż. **Wojciech Winiarski**Z-ca Dyrektora  
ds. Badawczo - Rozwojowychdr inż. **Jan Jabłkowski****1997-12-15**

Pracę zakończono dnia .....

Nr arch. **Numer 7495**Nr zlecenia **Zlecenie S1789**

**SYSTEMY POMIAROWE, OCZYSZCZANIE ŚCIEKÓW**

Abstrakt

**Sprawozdanie zawiera:**

- **wyszczególnienie wielkości fizycznych i fizyko - chemicznych mierzo-nych w oczyszczalniach ścieków oraz urządzeń wykonujących pomiary tych wielkości**
- **opis modułów i oprogramowania systemu pomiarowego**
- **opis prac przy uruchomieniu modelowego systemu pomiarowego**
- **matematyczny model systemu pomiarowego i pomiaru służący do a-nalazy błędów przetwarzania sygnałów pomiarowych**

Tytuły poprzednich sprawozdań

Rozdzielnik

Egz. 1. **OIN** .....

Egz. 2. **DPQ** .....

Egz. 3. **DPQ** .....

## Spis treści

1. Wstęp.....	2
1.1 Podstawa i cel pracy .....	2
1.2 Przedmiot pracy .....	2
2. Dobór przetworników pomiarowych stosowanych w oczyszczalniach ścieków.....	2
2.1 Pomiar przepływu.....	2
2.2 Pomiar wielkości fizyko-chemicznych.....	3
3. Określenie najkorzystniejszej konfiguracji systemu pomiarowego i metod komunikacji pomiędzy elementami systemu pomiarowego dla oczyszczalni.....	6
*. Określenie i opis komponentów systemów pomiarowych do zastosowania w oczyszczalni ścieków.....	6
5. Opanowanie uniwersalnych programów obsługi systemów pomiarowych.....	9
5.1 VISUAL BASIC - standard tworzenia aplikacji do zbierania i akwizycji danych w środowisku Windows.....	9
5.2 DAQVBX (Visual Basic Custom Control).....	10
5.3 Program In Touch.....	11
5.4 Program DASyLab.....	13
5.5 Program ASIX firmy ASCOM.....	14
5.6 Program GENIE 2.12 firmy ADVANTECH.....	15
5.7 GENIE 3.0 - pakiet do tworzenia aplikacji pomiarowo-kontrolnych w środowisku Windows.....	18
6. Budowa i uruchomienie układu modelowego do prób laboratoryjnych.....	22
6.1 Praca z oprogramowaniem GENIE.....	22
.2 Układ akwizycji sygnałów pomiarowych z wykorzystaniem modułów serii ADAM 4000 prod. Advantech.....	23
6.3 Układ akwizycji sygnałów pomiarowych z użyciem karty pomiarowo-sterującej PCL-818.....	24
7. Opanowanie metod obliczania i eliminacji błędów pomiaru.....	24
7.1 Model systemu pomiarowego.....	24
7.2 Model pomiaru.....	27
8. Podsumowanie.....	29

## **1. Wstęp**

### **1.1 Podstawa i cel realizacji pracy**

Podstawą realizacji pracy było zlecenie nr S1789.

Celem pracy było zdobycie umiejętności samodzielnego projektowania prostych systemów pomiarowych dla oczyszczalni ścieków.

### **1.2 Przedmiot pracy**

Przedmiotem pracy była analiza informacji uzyskiwanych z dostępnej literatury, broszur reklamowych, kontaktów osobistych z przedstawicielami firm rozprowadzających interesujące nas urządzenia w celu dokonania wyboru przyrządów pomiarowych dla oczyszczalni ścieków oraz komponentów systemu pomiarowego dla tych obiektów. Po dokonaniu wyboru dostawców przeprowadzono próby laboratoryjne samodzielnie zbudowanego prostego systemu pomiarowego.

W wyniku wykonania pracy wybrano przyrządy pozwalające na kompleksowe opomiarowanie wszelkiego typu oczyszczalni ścieków w zakresie pomiaru przepływu i analiz fizyko - chemicznych oraz opanowano podstawy programowania przy pomocy uniwersalnych programów obsługi systemu pomiarowego w zakresie prostych aplikacji systemu pomiarowego dla oczyszczalni ścieków. Uzyskano również niezbędną wiedzę pozwalającą na kompletację i aplikację modułów przetwarzania sygnałów pomiarowych dla takich systemów.

## **2. Dobór przetworników pomiarowych stosowanych w oczyszczalniach ścieków**

W oczyszczalniach ścieków przeprowadzane są pomiary przepływu ścieków oraz ich analizy fizyko - chemiczne.

### **2.1 Pomiary przepływu**

Pomiary przepływu realizowane są zarówno dla ścieków surowych jak i oczyszczonych. Mogą one odbywać się w przewodach zamkniętych ciśnieniowych jak i kanałach otwartych. W niektórych przypadkach pomiaru można dokonać poprzez sumowanie objętości ścieków zrzucanych okresowo ze zbiorników.

Dla opomiarowania ilości płynących ścieków w przewodach ciśnieniowych wybrano przepływomierze elektromagnetyczne firmy DANFOSS. Pozwalają one na długotrwały pomiar ilości wszelkiego rodzaju ścieków, bez strat ciśnienia przy zapewnieniu dokładności lepszej niż 0,25% mierzonej wartości.

Dla pomiarów w kanałach otwartych, w zależności od napotkanych w oczyszczalni warunków wybrano przepływomierz konduktometryczny PSK-4 produkcji PIAP, ultradźwiękowy CHANFLO produkcji DAFOSS oraz przepływomierz uniwersalny SIGMA 950AV produkcji AMERICAN SIGMA.

Przy pomiarach ścieków okresowo zrzucanych ze zbiorników wykorzystywane będą sterowniki pomp firmy DAFOSS.

Wybrane przyrządy pozwalają opomiarować ilość przepływających ścieków w każdych spotykanych w praktyce warunkach. Wszystkie posiadają również wyjścia sygnałowe proporcjonalne do mierzonej wartości strumienia objętości, możliwe do wykorzystania w systemach monitoringu.

## 2.2 Pomiary wielkości fizyko - chemicznych

Rodzaj wielkości fizyko chemicznych podlegających pomiarom zależy od charakteru ścieków doprowadzanych do oczyszczalni. Poniżej podano zestawienie dotyczące tego zagadnienia.

**Oczyszczalnie ścieków bytowo-gospodarczych (komunalnych):** tlen, BZT (Biochemiczne Zapotrzebowanie Tlenu), ChZT (Chemiczne Zapotrzebowanie Tlenu), OWO (Ogólny Węgiel Organiczny), zagniwalność i siarkowodór, związki nawozowe (związki azotu, fosforu i potasu), związki azotu (azot amonowy (amoniak), azot organiczny, azotyny, azotany, azot ogólny), związki fosforu, związki potasu, związki siarki i chloru, metale ciężkie (chrom +3, chrom +6, miedź, bor, ołów, kadm, arsen, rtęć, cynk, nikiel, fluor), pH, temperatura, barwa, mętność

**Wydobycie i wzbogacanie rud:** pH, tlen, chlorki, siarczany, żelazo, mangan, twardość, mętność

**Kopalnie węgla kamiennego i brunatnego:** pH, tlen, chlorki, siarczany, krzemionka, tlen rozpuszczony, glinu, żelazo, wapń, strontu, baru, magnezu, mangan, twardość, mętność

**Hutnictwo żelaza:** pH, tlen, żelazo, cyjanki, siarczki, fenole, naftalen, mętność

**Stalownie i walcownie:** temperatura, tlen, olej w wodzie, metale i ich tlenki odpowiednie do obrabianego materiału

**Zakłady budowy maszyn i zakłady mechaniczne:** olej w wodzie, BZT, tlen, azotyny, chrom, fosforany

**Trawienie metali:** pH, zawartość wolnych kwasów i soli metali w zależności od obrabianego materiału, fenol

**Galwanizernie:** pH, cyjanki, miedź, cynk, nikiel, chrom, kadm, żelazo, srebro, chlor

**Wytwórnice spoiw oraz cementownie:** pH, zasadowość, olej w wodzie, mętność

**Zakłady ceramiczne i cegielnie:** pH, glin

**Fabryki i zakłady obróbki szkła:** fenole, pH, fluor, twardość

**Cukrownie:** BZT, ChZT, tlen, azot ogólny, azot amonowy, azot organiczny, cukier, pH, fosforany, potas, temperatura, mętność

**Wytwórnice krochmalu:** ChZT, BZT, pH, tlen, temperatura, potas, azot ogólny, azot amonowy, żelazo, fosfor, fosforany, wapń, magnez, siarka, węgiel, skrobia, zagniwalność

**Mleczarnie i serownie:** pH, tlen, mętność, ChZT, BZT, temperatura

**Wytwórnice tłuszczów jadalnych:** pH, tlen, ChZT, BZT, zagniwalność, mętność, temperatura

**Zakłady przetworów owocowo warzywnych:** pH, ChZT, BZT, tlen, chlorki, mętność, temperatura, olej w wodzie

**Browary i słodownie:** pH, mętność, ChZT, BZT, tlen, azot ogólny, azot organiczny, wapń, potas

**Gorzelnie:** pH, ChZT, BZT, tlen, węgiel organiczny, węglany, azot organiczny, azot amonowy, azotany, azotyny, siarka, fosfor, chlor, mętność, wapń

**Zakłady mięsne:** pH, ChZT, BZT, tlen, azot ogólny, potas, wapń, mętność, chlorowce, olej w wodzie

**Zakłady utylizacji odpadów roślinnych i zwierzęcych:** pH, ChZT, BZT, tlen, barwa, azot, ogólny, amoniak, azotany, azotyny, chlor, fosforany, olej w wodzie

**Wytwórnice mączki rybnej:** pH, ChZT, BZT, tlen, azot ogólny, amoniak, azotany, azotyny, chlor, fosfor, olej w wodzie

**Gospodarstwa rolne i fermy:** pH, ChZT, BZT, tlen, azot ogólny, amoniak, azotany, azotyny, chlor, fosforany, olej w wodzie

**Płuczki węgla i brykietownie:** pH, twardość, zasadowość, siarczany, mętność

**Ścieki fenolowe (gazownie, koksownie, destylarnie smoły):** pH, mętność, barwa, temperatura, ChZT, tlen, amoniak, dwutlenek węgla, fenole, fosfor, amoniak, azot organiczny, azot całkowity, siarka

**Przemysł naftowy:** pH, ChZT, BZT, tlen, olej w wodzie, fenol, amoniak, siarka, chlor, fosfor

**Przemysł celulozowo papierniczy:** pH, mętność, barwa, ChZT, BZT, tlen, amoniak, azot ogólny, azot organiczny, azot amonowy, siarka, chlor, wapń

**Przemysł włókienniczy:** pH, ChZT, BZT, tlen, mętność, siarka, temperatura, azot ogólny, amoniak, azotany, azotyny, olej w wodzie, zasadowość, fosfor

**Przemysł skórzany:** pH, ChZT, BZT, tlen, siarka, chrom, żelazo, twardość, chlor, amoniak, azot ogólny, azot organiczny, wapń

**Fabryki kleju:** pH, mętność, ChZT, BZT, tlen, chlor, azot ogólny, azot organiczny

**Przemysł tworzyw sztucznych:** pH, ChZT, BZT, tlen, chlor, siarka, fenol, azot ogólny

**Przemysł fotochemiczny i poligraficzny:** pH, ChZT, tlen, zasadowość, azot ogólny

Do oferty PIAP włączono następujące urządzenia pozwalające na opomiarowanie oczyszczalni ścieków pod względem wielkości fizyko - chemicznych w czasie rzeczywistym:

#### **Producent LAR**

**urządzenia:** ELOX Monitor, ELOX 100 (pomiar ChZT)

**urządzenia:** Bio Monitor (pomiar BZT)

**urządzenia:** TOX Alarm „pro”, Nitrotox Monitor (pomiar ostrzegawczy przed substancjami toksycznymi niszczącymi oczyszczalnie biologiczne)

#### **producent MAIHAK**

**urządzenia:** TOCOR 200 (pomiar OWO)

**producent SIGMA**

**urządzenia:** Sigma 900 lite, Sigma 900 max (pobór próbek, dodatkowo - pH, przepływ, O<sub>2</sub>, przewodność, T, redox)

**producent HACH**

**urządzenia:** analizatory serii 5000 (pomiar: krzemionka, fosforany, aluminium, hydrazyna)

**urządzenia:** analizatory „Pump Calorimeters” (pomiar: zasadowość, chlor, związki fosforu, miedź, twardość, krzemionka, związki siarki)

**urządzenia:** EC1000 (pomiar pH, redox)

**urządzenia:** analizator 31700 (pomiar Chrom)

**producent TYTRONICS**

**urządzenia:** FPA 200, FPA 300/400, FPA 800, FPA 1000/1100 (pomiar azotyny, azotany, amoniak, azot ogólny, barwa, sól, fluor, cynk, żelazo, magnez, chlor)

**producent DECMA**

**urządzenia:** nieustalone (pomiar olej w wodzie)

**producent DANFOSS**

**urządzenia:** EVITA (pomiar tlen i temperatura)

Do oferty PIAP włączono następujące urządzenia laboratoryjne pozwalające na opomiarowanie oczyszczalni ścieków pod względem wielkości fizyko - chemicznych:

**Producent HACH**

spektrofotometr: DR/4000 UV, DR/4000 V, DR/2010

reaktor ChZT

miernik BZT

kolumna mineralizacyjna

kalorymetr: DR/700

pehametr: EC-10, EC-20, EC-30, EC-40

konduktometr: CO 150

czułościomierz: 2100 P, 2100 N, 2100 N IS, 2100 AN, 2100 AN IS

laboratorium mikrobiologiczne: MEL-PIA, MEL-MF, MEL-MPN

tlenomierz: DO-175

**Producent OXYGUARD**

tlenomierz: MK I, MK II, MK III

Przyrządy służące do pomiarów wielkości fizykochemicznych wybrane zostały z ofert wielu firm współpracujących, pod względem jakości, ceny i możliwości włączenia w komputerowy system monitoringu. W obecnej chwili jesteśmy w stanie wyposażyć w odpowiedni sprzęt zarówno instalacje przemysłowe jak i laboratoria.

### **3. Określenie najkorzystniejszej konfiguracji systemu pomiarowego i metod komunikacji pomiędzy elementami systemu pomiarowego dla oczyszczalni**

W oczyszczalniach ścieków mamy najczęściej do czynienia z niewielką liczbą punktów pomiarowych, jednak bywają one rozrzucone na stosunkowo dużej przestrzeni. Wartości wielkości mierzonych nie podlegają szybkim zmianom. W specyficznych warunkach występujących w polskich oczyszczalniach korzystny jest model systemu pomiarowego umożliwiający jego łatwą rozbudowę, gdyż oczyszczalnie często nie dysponują funduszami pozwalającymi na jednorazowe pełne opomiarowanie procesu. Mając na uwadze przyszłe rozszerzenie proponowanych przez PIAP - DPQ systemów monitoringu o możliwości sterowania, korzystne jest zapewnienie możliwości komunikacji pomiędzy elementami systemu pomiarowego bez pośrednictwa kontrolera.

Najlepiej ww. wymagania spełnia konfiguracja liniowa z transmisją szeregową.

### **4. Określenie i opis komponentów systemów pomiarowych do zastosowania w oczyszczalni ścieków**

Ze względu na spełnienie wymagań sformułowanych w rozdziale 3, oraz stosunkowo niskie ceny oprogramowania i komponentów systemu, do budowy systemu pomiarowego w oczyszczalni ścieków wybrano produkty firmy ADVANTECH serii ADAM 4000 z protokołem komunikacji RS 485.

Moduł umieszczony jest bezpośrednio przy czujniku, zawiera izolację, przetwornik A/C oraz układ komunikacyjny. Dane pomiarowe zamieniane są na transmisję cyfrową i po łączu RS-485 przesyłane do komputera. Firma ADVANTECH wdrożyła do produkcji podobną serię modułów pomiarowych ADAM 4000 będących udoskonaleniem i poszerzeniem odpowiedników rodziny 6B.

Z zewnątrz ADAM (Analog Digital Acquisition Module) jest pudełkiem o niewielkich rozmiarach (11cm x 6cm x 2.5cm) wykonanym ze specjalnego tworzywa ABS. W środku umieszczony jest mikrokontroler, 16 bitowy przetwornik A/C, optoizolacja oraz układ komunikacyjny RS-485. U dołu zamontowany jest wyjmowany zacisk, do którego dołącza się kable transmisyjne, zasilające sygnały pomiarowe. Moduły mogą być w łatwy sposób zatraskowo montowane na szynie DIN, umieszczane jeden na drugim lub mocowane wkrętami.

Komunikacja z komputerem następuje przez łącze RS-232. Ponieważ standard RS-232 zapewnia transmisję na niewielkie odległości i nie pozwala na podłączenie wielu urządzeń w sieć, zastosowano standard transmisji szeregową RS-485. Jeden z modułów ADAM-4520 jest konwerterem z RS-232 na RS-485.

Fizyczne połączenie pomiędzy modułami a komputerem stanowią przewody dwużyłowe. Maksymalna odległość modułu od komputera wynosi 1200 metrów. Można ją wydłużyć stosując ADAM-4510 (repeater) o następne wielokrotności 1200 metrów, maksymalnie do 16 km. Wszystkie ADAM'y są połączone w sieć. Każdy ma swój własny, programowalny i przechowywany w pamięci EEPROM adres, który go identyfikuje przy odpytywaniu przez komputer zarządzający. Wszystkie moduły fizycznie są dołączone równolegle do tej samej pary przewodów. Komputer jest jednostką nadrzędną w sieci. Moduły monitorują sieć i odpowiadają, gdy w rozkazie przesyłanym z komputera pojawia się ich własny adres. Transmisja do i z komputera odbywa się z



maksymalną prędkością 19200 bitów/s.

ADAM'y są przystosowane do podłączenia wielu różnych czujników i typów sygnałów. Bezsrednio można dołączyć termopary, sygnały prądowe 0-20mA, wejścia z czujników rezystancyjnych, sygnały cyfrowe TTL. Mikroprocesor decyduje o "inteligencji" modułu. Pełni on następujące funkcje:

- linearyzacji termopar,
- kompensacji zimnego końca termopary,
- konwersji danych do kilku różnych formatów,
- komunikacji z komputerem,
- obsługi alarmów,
- zliczania zdarzeń,
- automatycznej kalibracji.

Serię ADAM-4000 rozpoczyna moduł analogowego wejścia 4011. Jest on uniwersalny, gdyż zdalnie może być konfigurowalny do obsługi 14 różnych typów wejść (różne typy termopar, wejścia mA, V, mV). Zastosowano tu 16 bitowy przetwornik typu sigma-delta sterowany z mikrokontrolera. Na wejściu jest filtr dolnoprzepustowy i wzmacniacz o programowalnym wzmocnieniu. Od części cyfrowej oddziela go optoizolacja. Mikrokontroler dokonuje konwersji na format, który wcześniej jest zaprogramowany. Może to być procent pełnego zakresu, kod uzupełnień do dwóch, ohmy, V, mV, mA. Konfiguracja ADAM'a jest przetrzymywana w pamięci EEPROM. Wszystkie moduły wejść analogowych z wyjątkiem ADAM-4013 (wejście z czujników rezystancyjnych) mają dodatkowo 1 wejście oraz dwa wyjścia cyfrowe. Można je wykorzystać do włączania i wyłączania urządzeń. Możliwy jest tryb pracy, w którym ADAM sygnalizuje na wyjściach cyfrowych przekroczenie przez sygnał wejściowy uprzednio zaprogramowanych progów: dolnego i górnego. Pozwala to na przykład na użycie ADAM-4011 jako samodzielnego, dwupunktowego kontrolera temperatury.

Wejście cyfrowe jest dołączone do 16 bitowego licznika, którego zawartość może być w dowolnym momencie odczytana i skasowana przez komputer.

Moduł 4014D posiada dodatkowo 4 1/2 cyfrowy wyświetlacz LED. Pokazuje on bezpośrednio w różnych formatach wynik pomiaru, sygnalizuje alarm lub wyświetla wartość pomiaru przesłaną z komputera po przeliczeniach. Liniowa funkcja konwersji może być programowana z komputera. Aby zrealizować funkcję nieliniową konwersji, pomiary muszą być przesłane do komputera, poddane obróbce i wysłane na wyświetlacz LED.

Wyjścia analogowe posiada moduł 4021. Zdalnie programuje się rodzaj wyjścia (prądowe :0-20 mA, 4-20 mA lub napięciowe: 0 -10V). Dodatkowy przetwornik A/C daje możliwość sprawdzenia przez komputer rzeczywistej wartości sygnału, jaka wychodzi z ADAM'a.

ADAM-4050 ma 7 wejść i 8 wyjść cyfrowych typu open-collector. Można go przystosować do sterowania urządzeniami mocy. Dokonują tego moduły OPTO-22 wkładane w specjalną podstawkę 4910-DIO. Przełączać można wtedy prądy do 3A i napięcia do 280 V. ADAM-4052 udostępnia 8 wejść cyfrowych izolowanych (5000V).

ADAM-4080D jest izolowanym dwukanałowym 32 bitowym licznikiem/miernikiem częstotliwości z wyświetlaczem LED. Moduł może zliczać dowolne zdarzenia, które generują impuls napięciowy. Na wejściu znajduje się programowalny przeciwzakłóceniaowy filtr cyfrowy, który decyduje o długości zliczanych impulsów.

ADAM-4060 ma wbudowane cztery przekaźniki, dwa zwierne i dwa przełączające. Ich ustawienie jest programowalne zdalnie.

ADAM-4017 ma osiem wejść analogowych.

W ofercie firmy ADVANTECH znajduje się ADAM Starter Kit - pakiet zawierający: trzy ADAM'y: ADAM-4520, ADAM-4011, ADAM-4060, zasilacz, szynę DIN, komplet kabli, manual, oprogramowanie komunikacyjne. Całość ma preferencyjną cenę i walory edukacyjne pozwalające na miękkie wejście w technikę stosowania modułów ADAM.

Wszystkie ADAM'y mogą być zasilane z dowolnego źródła napięcia niestabilizowanego z zakresu 10 do 30V.

Obsługa programowa ADAM'ów z poziomu języka C, BASICa i Pascala polega na sekwencyjnym wysyłaniu komend i odczytywaniu odpowiedzi z portu szeregowego komputera. Komendy mają formę ciągów znaków ASCII. Dzieli się na cztery grupy:

- odczytu danych analogowych
- dodatkowe (obsługa we/wy cyfrowych, alarmów, liczników)
- ustawiania wartości wyjść analogowych
- konfiguracji
- informacyjne (typ modułu, wersja, status)

Ogólna składnia rozkazów jest następująca:

`[znak startu][adres][rozkaz][dane][suma kontrolna]#13`

Znak startu rozpoczyna rozkaz. Może to być w zależności od rodzaju komendy znak ze zbioru: '\$', '#', '%', '@'.

Adres ma postać dwóch znaków ASCII heksadecymalnie.

Rozkaz składa się z dwóch znaków ASCII.

Dane są opcjonalne i występują tylko przy niektórych rozkazach.

Suma kontrolna jest również opcjonalna i występuje gdy moduł jest przełączony w tryb pracy z sumą kontrolną.

Każdy rozkaz zawiera adres modułu. ADAM do którego się zwracamy przesyła pomiar również w postaci ciągu znaków ASCII, w formacie uprzednio zaprogramowanym (stopnie Celsjusza, wolty, % pełnego zakresu).

#### Listing 1

```
' Odczyt temperatury z ADAM-4011 z dołączoną termoparą typu T'  
'0 OPEN "COM1:9600,N,8,1,RS,CS,CD,DS" AS #1  
20 komenda$="%2324100600"  
30 PRINT #1, komenda$ ' Konfiguruje ADAM-4011 na adres 24H, wejście termoparowe typu T,  
transmisję na 9600 bit/s, format danych stopnie C'  
40 komenda$="#24"  
50 PRINT #1, komenda$ 'Odczyt wejścia analogowego'  
60 wynik$=INPUT$(5,#1)  
70 PRINT "Temperatura= ";wynik$  
80 CLOSE:END
```

Na przykład komenda #05 spowoduje, że moduł o adresie 5 wyśle pomiar. Jeśli był zaprogramowany na wejście napięciowe to z portu szeregowego komputera odczytamy to mierzone napięcie w postaci ciągu znaków np.: >+4.834. Komenda #\*\* powoduje zatrzaśnięcie wartości pomiarów we wszystkich modułach w tym samym momencie. Następnie możemy je kolejno odczytać rozkazem \$AA4 (AA - adres modułu). Przykładowy krótki program obsługi ADAM'a w BASICU podaje listing 1. Dla programistów pracujących w środowisku WINDOWS dostępny jest driver DLL współpracujący z VISUAL BASIC, MICROSOFT C++, BORLAND C++, TURBO PAS-

CAL.

Gratisowo do obsługi ADAM'ów dołączany jest program ADAM.exe. Pozwala on na łatwe konfigurowanie modułów. Ustawianie parametrów następuje przez wybór opcji z menu. Program ma wbudowany terminal, za pomocą którego można także wysyłać pojedyncze komendy i obserwować odpowiedzi modułów. Wyszukanie i zidentyfikowanie typów ADAM'ów połączonych do sieci następuje automatycznie.

ADAM'y są obsługiwane przez wszystkie liczące się programy do akwizycji danych: LABTECH NOTEBOOK/CONTROL, GENESIS, GENIE. Użycie jednego z tych gotowych programów daje możliwość szybkiego zastosowania zdalnych modułów, bez konieczności wnikania w protokół komunikacyjny i listę rozkazów. Nie wymagana jest też od użytkownika umiejętność programowania. Najbardziej przyjaznym jest GENIE for WINDOWS. Intefejs graficzny tego programu pozwala na proste skonfigurowanie eksperymentu pomiarowego. Wejścia analogowe i cyfrowe przedstawiane są w formie ikon. Dokonujemy ich połączenia strzałkami na ekranie komputera. Na zakończenie o aplikacjach. ADAM'y przeznaczone są głównie do zastosowań przemysłowych i laboratoryjnych, wszędzie tam gdzie potrzebna jest zdalna kontrola i monitorowanie wielkości fizycznych lub elektrycznych. Doskonale nadają się do sterowania klimatyzacją, monitorowania temperatury i mocy. Można je zastosować w systemach alarmowych i nadzorujących.

Przykładów zastosowań na całym świecie jest wiele. Jedna z firm zastosowała je na stacjach benzynowych do zbierania informacji z dystrybutorów paliw. Duży producent półprzewodników na Tajwanie stosuje moduły do kontroli parametrów układów scalonych.

ADAM'y mogą pracować w zakresie temperatur od -10 do 70 stopni Celsjusza. Zamknięte w wodoszczelnej obudowie 4950-ENC spełniającej normę IP-66 mogą pracować w środowisku zapyłonym i wilgotnym. Średni koszt jednego modułu wynosi 200 dolarów. Jest niższy od ceny karty przetwornika A/C. Wprowadzony ostatnio ADAM-4017 o ośmiu wejściach analogowych zwiększa jeszcze bardziej atrakcyjność cenową ich stosowania.

## **5. Opanowanie uniwersalnych programów obsługi systemów pomiarowych**

Oprogramowanie jest ważnym czynnikiem w istotny sposób decydującym o powodzeniu i komfortie tworzenia własnych aplikacji programów do sterowania obiektami i akwizycji wyników pomiarów. Zakupione oprogramowanie może okazać się nieodpowiednie do konkretnych potrzeb odbiorcy albo oprogramowanie o oczekiwanych właściwościach może być niedostępne. Obecnie jest już szeroki wybór kompletnych pakietów zawierających programy do sterowania i akwizycji. Wiele spośród nich są gotowe do bezpośredniego wykorzystania aplikacyjnego, co pozwala użytkownikowi skupić się na specyfice automatyzowanego procesu i problemach tworzonego systemu. Przykładami takich pakietów dla automatyki przemysłowej i pomiarów mogą być: Visual Basic, DASyLab, InTouch, ASIX, GENIE.

### **5.1 VISUAL BASIC - standard tworzenia aplikacji do zbierania i akwizycji danych w środowisku Windows**

Chociaż środowisko Windows nie jest systemem czasu rzeczywistego, tym niemniej większość obecnie oferowanych pakietów oprogramowania do zbierania danych i sterowania działa w środowisku Windows. Do wszystkich kart dostępne są drivery działające w środowisku Windows. Programy zyskały przez to na łatwości obsługi i konfiguracji.

Visual Basic stał się bardzo popularnym środowiskiem programowym wśród naukowców i

inżynierów. Dzięki prostocie i szybkości przygotowania aplikacji do środowiska Windows, każdy może w przeciągu godzin stworzyć własny działający program. Visual Basic pozwala na dołączenie bibliotek niezależnych producentów. Pojawiło się na rynku wiele gotowych bibliotek do Microsoft Visual Basic. Obecnie wszystkie większe firmy oferujące karty do zbierania i akwizycji danych udostępniają drivery i biblioteki do Visual Basic. Visual Basic pozwala na dołączenie niestandardowych obiektów do tworzenia aplikacji takich jak przyciski 3D, specjalne suwaki itd. Zainstalowanie tzw. VBX (Visual Basic eXtension) powoduje pojawienie się w listwie narzędziowej dodatkowych ikon zapewniających obsługę wszystkich funkcji kart wejścia wyjścia. Tak więc mamy np.: ikonę pozwalającą na odczyt wejścia przetwornika analogowo-cyfrowego, zapis za przetwornik cyfrowo-analogowy, odczyt wejść cyfrowych, ustawianie wyjść cyfrowych i przekaźnikowych, obsługę kart liczących impulsy i mierzących temperaturę. Parametry obsługi kart takie jak adres, częstotliwość próbkowania, zakres napięć wejściowych itp. ustawia się w standardowym okienku „properties”.

## 5.2 DAQVBX (Visual Basic Custom Control)

Program DAQVBX (Visual Basic Custom Control) firmy Advantech jest rozszerzeniem modułu VBX, pracującym pod Microsoft Visual Basic 3.0. Dodanie DAQVBX do listwy narzędziowej umożliwia łatwe programowe komunikowanie się z kartami wejścia/wyjścia firmy Advantech, kartami w standardzie PCIA, modułami ADAM itd. w sposób uproszczony, bez konieczności pisania osobnych procedur. DAQVBX łączy w sobie wszystkie zawiłości języków programowania niskiego poziomu w jednym interfejsie wysokiego poziomu, który jest prosty w użyciu i czytelny. Programując w DAQVBX użyteczne aplikacje w znacznym stopniu ułatwia się programowanie i oszczędza czas.

Minimalne wymagania sprzętowe do działania programu są następujące: Microsoft Windows 3.1, Microsoft Visual Basic 3.0, 2 MB wolnego miejsca na dysku, monitor i mysz kompatybilne z Windows.

### Programowanie z użyciem DAQVBX

Kilkoma prostymi krokami można usprawnić programowanie w Visual Basic i łatwo tworzyć rozbudowane aplikacje. W tym celu należy:

- zainstalować DAQVBX poprzez uruchomienie pliku setup.exe z dyskietki instalacyjnej, dodać DAQVBX jako nowe rozszerzenie VBX w Visual Basic Toolbox,
- otworzenie nowego dokumentu (Form) w Visual Basic,
- dodanie tylu ikon z DAQVBX do dokumentu ile jest potrzebne i ustawienie we właściwościach (properties) żądanych wartości parametrów, takich jak rodzaj urządzenia, numer kanału, itp.,
- dołączenie dodatkowych przyrządów lub określenie sposobu wizualizacji (Visual Basic code) niezbędnych do tego, aby aplikacja była kompletna,
- uruchomienie programu.

Można wyświetlać, zachować i analizować dane poprzez zastosowanie własnego sposobu wizualizacji lub używając innych dostępnych pakietów programowych. Zawsze można przenieść dane do innych aplikacji Windows (funkcja DDE). Podczas pracy cały czas zachowuje się pełną kontrolę nad działaniem i wyglądem aplikacji.

Program DAQVBX ma m.in. następujące cechy:

- podtrzymuje wszystkie funkcje sprzętowe (cyfrowe i analogowe wejścia/wyjścia, liczniki, alarmy itp.,
- możliwość współpracy z wieloma kartami sterowania i akwizycji,
- wyzwalamie programowe przez przesłanie pojedynczego impulsu,

- szybkość próbkowania powyżej 1 kHz (z użyciem sygnału przerwania),
- pomoc kontekstowa,
- pierwszoplanowe są operacje synchroniczne, drugoplanowe - operacje komunikowania się,
- program instalujący sam prowadzi instalację wszystkich komponentów (podprogramów),
- zawiera przykładowe programy w kodzie źródłowym.

Duży wybór funkcji DAQVBX pozwala szybko tworzyć duże programy stosunkowo małym nakładem pracy. Poniżej przedstawiono niektóre z tych funkcji.

- **DeviceName:** określenie konfiguracji we/wy kart lub modułów ADAM,
- **ChannelNum:** określenie numeru kanału we/wy karty, z którego będą wczytywane dane,
- **SampRate:** określenie wielkości próbki lub częstotliwości gromadzenia danych,
- **NumSamples:** ilość próbek gromadzonych w bloku pamięci o danym numerze,
- **SampleType:** określenie rodzaju przetwarzania analogowo-cyfrowego podczas pracy programu, przerwania oraz bezpośredniego dostępu (DMA),
- **AdStartChan:** określenie pierwszego kanału, skąd będą pochodzić dane (dotyczy szybkiego przetwarzania A/D),
- **AdStopChan:** określenie ostatniego kanału, skąd będą pochodzić dane (dotyczy szybkiego przetwarzania A/D),
- **Range:** zakres napięć, w przetwarzaniu A/D i D/A,
- **Blockmode:** określenie sposobu zapełniania bloku z danymi - w sposób ciągły (continuous) lub jeden raz przed zakończeniem akwizycji (single block),
- **CountFreqPulse:** wybranie typu licznika operacji - pomiar częstotliwości, impuls wyjściowy czy licznik wynikowy (w zależności od przyłączonego sprzętu),
- **Gate:** rodzaj bramkowania dla licznika operacji (poziomem niskim, wysokim, bramkowanie blokujące),
- **FreqOfPulse:** częstotliwość impulsów wyjściowych,
- **TermoType:** określanie typu używanej termopary - J, K, E, T, R, S,
- **ExpChan:** określenie kanału dołączonej karty, z którego będą wczytywane dane,
- **Acquire:** ustawianie początku i końca zbierania danych,
- **OutputData:** podczas wykonywania programu tu gromadzone są dane przed ich wystaniem do we/wy urządzeń,
- **TransferCount:** zawarty jest tutaj aktualny numer próbki żądanej z we/wy urządzenia lub do niego wysyłanej (można użyć tej funkcji do przerwania akwizycji).

### 5.3 Program In Touch

In Touch jest jednym z produktów serii Wonderware. To obiektowy interfejs graficzny pośredniczący między człowiekiem a maszyną (MMI), mający zastosowanie w automatyce przemysłowej jako program sterujący procesem i prowadzący nad nim nadzór. Nowa wersja tego programu posiada szereg udogodnień i cechuje się różnorodnością zastosowań przemysłowych. Graficznie skonfigurowane aplikacje są teraz szybsze w rozwijaniu, obiekty i grupy obiektów mogą być przenoszone, można zmieniać ich rozmiary i animować wydajniej niż w grafice rastrowej. Pełna gama narzędzi pozwala na rysowanie, rozmieszczanie na ekranie, obracanie, powielanie, wycinanie i wstawianie oraz wiele innych funkcji w sposób łatwy i szybki. Te narzędzia są dostępne w niepowtarzalnym, konfigurowalnym przez użytkownika zbiorze Toolbox lub ze standardowych, rozwijalnych menu. Przedstawiony w postaci ikon proces można animować poprzez kombinację koloru, ruchu i zmian położenia. Mamy tu do dyspozycji poziome i pionowe suwaki, dyskretne i analogowe wejścia/wyjścia oraz ciągi znaków, przyciski obrazu, ukrytych ikon, możli-

wość wypełniania kolorem i tekstem przycisków sterujących, uwidacznianie i migotanie połączeń oraz wiele innych.

Wymagania sprzętowe to komputer klasy PC z minimum 8 MB pamięci RAM oraz Windows 95 lub WFW 3.11. Istnieje także możliwość pracy w sieci o standardzie NetBIOS (np.: Ethernet, Novell, itp.) poprzez złącze równoległe i protokół TCP/IP.

### *Standardowy interfejs użytkownika*

Programy serii Wonderware zachowują standard formatu Windows GUI i dlatego łatwo jest przejść z jednej wersji programu In Touch do innych oraz do innych programów pracujących w środowisku Windows. Te same wersje programu In Touch dla różnych środowisk programowych używają tego samego interfejsu użytkownika co pozwala wyświetlić wiele programów Windows równocześnie na jednym ekranie.

### *Dynamiczne odwoływanie (Dynamic Referencing)*

Właściwość ta pozwala użytkownikom zmieniać bazę danych odniesioną do wejść/wyjść podczas wykonywania programu. Oznacza to, że użytkownik może zmieniać odwołanie danych na np.: adresy PLC, arkusze Excela, odwołania DDE i inne. Te nowe możliwości pozwalają używać operatorom np.: pojedynczego uchwytu do podejrzenia każdej komórki w arkuszu. Działając wspólnie z wieloma aplikacjami DDE oraz wykorzystując możliwości programów Wonderware i dynamiczne przełączanie uzyskuje się ogromną elastyczność aplikacji.

### *Rozdzielone alarmowanie (Distributed Alarming)*

Właściwość ta wspiera wiele serwerów alarmowych i dostarcza równocześnie operatorom informacje o zaistnieniu sytuacji alarmowej z wielu odległych miejsc. Rozdzielenie funkcji alarmu pozwala operatorowi wprowadzić alarm typu „wskaż i wciśnij”, który wymaga potwierdzenia jego odbioru oraz wiele innych nowych cech do zastosowań sieciowych. In Touch dostarcza od 1 do 999 alarmów o różnych priorytetach, które dodatkowo można podświetlać różnymi kolorami zależnie od ich statusu. Mamy 8 poziomów alarmowych z których każdy zawiera 16 podgrup. Alarmy mogą być wyświetlane na ekranie, zapisywane na dysku lub wyprowadzane na drukarkę.

### *Distributed Historical Trending i Remote Development*

Distributed Historical Trending to system pozwalający użytkownikowi na dynamiczną specyfikację różnych historycznych plików z danymi źródłowymi z różnych przebiegów. In Touch pozwala wykorzystać równocześnie do 8 przebiegów i użytkownicy mają możliwość wglądu do ogromnej liczby danych historycznych w dowolnym czasie.

Remote Development daje możliwość przystosowania wielowęzłowych instalacji sieciowych. Zawarte w nim aplikacje aktualizują wszystkie węzły w sieci, pozwalają kształtować automatyczną lub rozproszoną podstawę czasu do wyzwań oraz zaistniałych wydarzeń.

### *Wizards*

Program In Touch jest wyposażony w bibliotekę Wizards, która zawiera pro konfigurowalne obiekty o dużej złożoności, które użytkownicy mogą modyfikować i powielać. Często używane „wizardy” mogą być dodane do paska narzędzi Toolbox, w celu łatwego i szybkiego dostępu do nich w czasie budowania własnych aplikacji. Rozszerzając pakiet narzędziowy własnymi wizar-  
dami możemy tworzyć jeszcze bardziej złożone wizardy. W ten sposób możemy zbudować sobie

np.: wizardy wykonujące konwersje rysunków o różnych rozszerzeniach, wizardy wykonujące automatyczną instalację własnej propozycji.

### *Bazy danych w czasie rzeczywistym*

Bazy z danymi mogą być konfigurowalne jako dyskretne, rzeczywiste lub całkowite wartości i znaki bez limitu wartości w każdym z tych typów. Można eksportować i importować dane z i do różnych arkuszy i edytorów. Wbudowane obiekty pozwalają łatwo tworzyć funkcje w czasie rzeczywistym i wyświetlać przebieg działań. Wyświetlanie bieżących działań w czasie rzeczywistym wspierają 4 przebiegi bez ograniczenia liczby znaków, które mogą być wyświetlone na ekranie.

## **5.4 Program DASYLab**

DASYLab to nowatorski, łatwy w użyciu, program do szybkiego zbierania danych, ich analizy i do sterowania. Program pracuje w środowisku Windows. Sposób projektowania w DASYLab opiera się na schemacie blokowym procesu i pozwala, przy użyciu standardowych kart sterujących i gromadzących dane, kompleksowo rozwiązywać główne problemy procesu na ekranie monitora. Projektując używa się ikon, które reprezentują funkcje: akwizycji, sterowania urządzeniami, funkcje logiczne i edycyjne. Umieszczenie na ekranie ikon i ich połączenie liniami tworzy schemat blokowy projektowanego procesu. Powstała w ten sposób sieć wystarczy uruchomić.

Uniwersalność programu polega na różnorodności dostępnych w nim modułów wykonawczych, w których zawarte są m.in.: karty przetworników A/D i D/A, we/wy cyfrowe, przerzutniki, filtry cyfrowe, generatory funkcji, opracowanie matematyczne i statystyczne, analiza widmowa i analiza szybką transformatą Fouriera (FFT). Ponadto dostępne są: różne typy graficznych wyświetlaczy wyników, operacje logiczne, liczniki zdarzeń, czasomierze, woltomierze cyfrowe, wskaźniki, przełączniki, wskaźniki stanu procesu, wykresy słupkowe, klasyfikacje, pliki we/wy oraz dostarczanie informacji z innych aplikacji, np. z Excela, własnego programu w języku C, itp. Istnieje także możliwość tworzenia własnych ikon przez użytkownika oraz dostępne są specjalne wyświetlacze lub funkcje matematyczne.

W zależności od wersji oprogramowania (podstawowa lub pełna) DASYLab daje do dyspozycji różną zawartość poszczególnych grup modułów. Cechy podstawowych modułów wykonawczych programu przedstawiono poniżej.

### *Schemat blokowy i Autorouter*

Ikony poszczególnych modułów mogą być łączone na ekranie ręcznie lub wykonane automatycznie, dzięki możliwościom łączeniowym tzw. Autoroutera. Schemat blokowy może być w każdej chwili edytowany na ekranie. Aktualny rozmiar używanego ekranu jest najczęściej znacznie większy niż wyświetlana część. Jeżeli aplikacja zajmuje więcej miejsca, to ekran można przesunąć w pionie lub poziomie.

### *Wyświetlanie wyników*

Wyniki mogą być wyświetlane graficznie, bezpośrednio lub autonomicznie, z możliwością wyboru układu współrzędnych. Dostępne są wykresy we współrzędnych liniowych, logarytmicznych, biegunowych oraz wykresy dwu- i trzymiarmowe. Wyniki mogą też być przedstawiane alfanumerycznie w postaci tablic. Wiele typów wyświetlaczy jedno- i wielokanałowych jest dostępne już w podstawowej (ubogiej) wersji programu DASYLab.

### *Zapis arkusza roboczego*

Pełny arkusz roboczy (np. schemat blokowy s ustawieniami eksperymentu, aktualne parametry i położenie otwieranych okien) można zapisać. Wgrywanie tych wstępnie skonfigurowanych ustawień urządzeń można następnie wykorzystać w innych schematach blokowych. Zapisywanie i odczytywanie danych - także z różnymi analizami - odbywa się przy użyciu ikony File I/O. W programie DASyLab możliwy jest import i eksport danych z różnymi standardowymi rozszerzeniami.

### *Sterowanie i symulacja*

Program DASyLab pozwala sprawdzić akwizycję i sterowanie procesem zapisanym w postaci schematu blokowego. W prosty sposób można zasymulować działanie projektowanego procesu, przeprowadzić testy i w ten sposób sprawdzić poprawność i efekt działania programu. Program wysyła symulowane sygnały do urządzeń zewnętrznych i odbiera od nich sygnały o wyryciu, położeniu i parametrach kart pomiarowo-sterujących. Symulacja, poprzez kombinację generatora sygnałów i funkcji matematycznych, dostarcza kompletnych przebiegów dotyczących projektowanego procesu.

Korespondencja pomiędzy wejściami/wyjściami ikon funkcji odbywa się poprzez zastosowanie logiki dwuwartościowej i sterowanie PID. Do dokładnego i współmiernego sterowania zależnościami czasowymi zastosowane są specjalne generatory impulsów.

### *Dokumentacja i wydajność*

Wszystkie zasoby okien (np. wydruki, moduły sterujące ekranem) są dostępne w dokumentacji wyjściowej. Prosty program do przetwarzania danych i drukarka pozwolą wywołać, umiejscowić i wydrukować tekst lub grafikę stosownie do wymagań.

Szybki moduł sterujący programu DASyLab gromadzi dane z częstotliwością 800 kHz w czasie rzeczywistym lub z 10 kHz bezpośrednio na wyświetlaczu. Rzeczywista szybkość gromadzenia danych zależy oczywiście od rodzaju stosowanego sprzętu komputerowego i kart akwizycji. Przy zastosowaniu programu DASyLab i współpracy z kartami analogowo-cyfrowymi firmy Advantech uzyskuje się częstotliwości akwizycji sygnałów od 5 - 10 kHz (np. karty PCL-812, PCL-816) do 100 kHz (PCL-818HD i HG), a nawet powyżej 200 kHz dla karty PCL-1800.

## **5.5 Program ASIX firmy ASCOM**

**ASIX** jest programowym pakietem projektowania i realizacji systemów nadzoru komputerowego dla procesów przemysłowych, linii technologicznych, maszyn i urządzeń, monitorowanych i sterowanych w oparciu o programowalne sterowniki i inne systemy pomiarowo-kontrolne. **ASIX** należy do klasy pakietów oprogramowania SCADA - Supervisory Control And Data Acquisition System - i realizuje szeroko pojęte funkcje zbierania danych procesowych, przetwarzania i wizualizacji, sterowania bezpośredniego i nadrzędnego, alarmowania i rejestracji zdarzeń, archiwizacji danych, sporządzania trendów, generowania raportów, analizy danych, udostępniania informacji o procesie w sieciach komputerowych. Systemy **ASIX** są eksploatowane zarówno na autonomicznych komputerowych panelach i stacjach operatorskich jak i w sieciach stacji dyspozytorskich. Pozwalają także na zdalny dostęp do informacji o procesie z oddalonych komputerów - stanowisk nadzoru nad eksploatacją, zarządzania produkcją, itp.



W wersji 2.0 **ASIX** dostępny jest w dwóch środowiskach - dla systemu operacyjnego DOS oraz dla systemów Windows NT/95. Obydwie wersje są wzajemnie kompatybilne co oznacza możliwość tworzenia aplikacji dla systemu Windows przy pomocy wersji dla systemu DOS i odwrotnie. Dodatkowo dzięki nowemu pakietowi **ASIX**, dane procesowe zbierane przez system **ASIX** mogą być udostępniane przy pomocy protokołów DDE i OLE2 praktycznie wszystkim programom pracującym w systemach Windows NT/95, które są w stanie tego typu dane wykorzystać (np. Microsoft Excel, Microsoft Word).

Pakiety **ASIX** zostały z powodzeniem zastosowane w wielu bardzo wymagających dziedzinach: energetyce (kotły, turbiny), przemyśle cementowym (młyny), górnictwie (ciągi transportowe), przemyśle metalurgicznym (prasy). Zaproponowane rozwiązania, oparte o wieloletnie doświadczenia, są w pełni akceptowane i doceniane przez użytkowników **ASIX** przekraczając funkcjonalne i techniczne granice wyznaczone przez dotychczasowe pakiety SCADA:

- zwiększona produktywność konstruowania aplikacji dzięki elementom wsadowego oraz interaktywnego parametryzowania w trybie on-line,
- edytor aplikacji wbudowany w każdym pakiecie run-time,
- rejestracja przebiegów zmiennych z sekundową rozdzielczością,
  - automatyczna kompresja archiwum danych,
- wykresy bieżące, historyczne i wzorcowe z dynamiczną parametryzacją i skalowaniem,
- długookresowy dziennik alarmów i zdarzeń ograniczony jedynie pojemnością dysku,
- wbudowany interpreter raportów definiowanych w efektywnym języku wyrażen i formatów,
- automatyczna archiwizacja alarmów i danych na rezerwowych dyskach stałych lub wymiennych (tworzenie kopii bezpieczeństwa),
- sieciowy serwer danych bieżących i archiwalnych oparty na najnowszej technice serwer-klient,
- prosty interpreter języka manipulowania danymi procesowymi,
- dwukierunkowy dostęp do relacyjnych baz danych typu dBase,
- wbudowany moduł czasomierzy monitorujących czasy pracy i inne parametry urządzeń,
- wbudowany moduł projektowania, wyświetlania oraz drukowania trendów,
- moduł pomocy (tzw. help) wykorzystujący wbudowane mechanizmy systemu Windows.

## 5.6 Program GENIE 2.12 firmy ADVANTECH

Dostępność i relatywnie niska cena komputerów PC spowodowała ich szerokie zastosowanie także w dziedzinach obsługiwanych wcześniej przez wyspecjalizowane produkty. Dotyczy to także automatyki i pomiarów, w których komputery wyposażone w odpowiednie karty lub specjalne moduły zewnętrzne są powszechnie stosowane do sterowania obiektami, rejestrowania i archiwizacji wyników pomiarów oraz ich wizualizacji w postaci graficznej, np. tabel lub wykresów. Początkowo oprogramowanie sterujące tymi zadaniami było tworzone w typowych językach programowania (Pascal, Basic, Język C itp.) przez wyspecjalizowanych programistów, co było kosztowne i czasochłonne, zwłaszcza przy rozbudowanych funkcjach i liczbie sterowanych obiektów lub punktów pomiarowych. Potrzeba uproszczenia i przyspieszenia procesu programowania spowodowała powstanie uniwersalnych programów, pozwalających na szybkie budowanie własnych aplikacji.

Pakiet GENIE firmy Advantech (USA) jest przykładem obecnie stosowanych standardów w zakresie programów do automatyzowania sterowania i pomiarów, pozwalających na szybkie intuicyjne i wizualne przygotowanie własnych aplikacji, pracujących w środowisku Windows lub DOS. Spośród kilku najbardziej znanych w Polsce pakietów o podobnych właściwościach GENIE wyróżnia się niską ceną, „przyjaznością”, elastycznością i szerokimi możliwościami zastosowań,

które łączy z prostotą użytkowania. Sposób tworzenia aplikacji jest prosty - polega na intuicyjnym budowaniu z bloków-ikon, wybranych z menu na ekranie i łączenie ich „liniami” sygnałowymi. Użytkownik ma do dyspozycji szereg ikon, za których pośrednictwem można sterować odczytem danych z kart, portu szeregowego, tworzyć ekrany wizualizacji itd.

Pakiet GENIE składa się z trzech podstawowych sekcji:

- edytora strategii,
- edytora ekranów,
- edytora skryptów.

### Edytor strategii

Komputer z oprogramowaniem GENIE może spełniać funkcje „inteligentnego” sterownika jeśli zostanie wyposażony w odpowiednie karty we/wy analogowo-cyfrowe, karty cyfrowe, licznikowe itp. albo w moduły zewnętrzne odpowiednich przetworników. Pierwszą czynnością w pracy z GENIE jest zatem odpowiednie skonfigurowanie kart lub wejść/wyjść cyfrowych w komputerze. Program obsługuje standardowo wszystkie karty i moduły zewnętrzne produkcji firmy Advantech. Wystarczy wybrać programowo typ karty, wpisać jej ustawienia, np. adres we/wy, numer przewożenia, rodzaj i zakres sygnału na wejściach. Oczywiście możliwa jest także obsługa kart i przetworników innych producentów, a także urządzeń niestandardowych, po dopisaniu odpowiednich prostych programów.

Przygotowanie aplikacji zaczyna się od wejścia do edytora strategii. Z ikon i „przewodów” buduje się blokowy algorytm funkcjonalny aplikacji (zadania). Określa się, skąd będą pobierane dane (z karty pomiarowej, wejścia szeregowego RS-232, z pliku danych, z innego komputera itd.) oraz jak będą przetwarzane, zapisywane lub przesyłane na zewnątrz.

Programowanie zadania (task) opiera się na intuicyjnym kojarzeniu ikon (oczywiście o poznanych właściwościach) dla stworzenia odpowiedniej funkcji automatycznego sterowania np. procesem, pomiarami lub kontrolą obiektu. Jeśli na przykład ikonę wejść analogowych, odczytującą dane z karty pomiarowej, połączy się z ikoną ekranu, to dane zostaną udostępnione wszystkim obiektom, umieszczonym na ekranie (licznikom cyfrowym, wskaźnikom analogowym, wykresom itd.). Wstawiając ikonę użytkownika można wprowadzać własne algorytmy przetwarzania lub sterowania, a jeśli ikonę wejścia połączymy z ikoną dyskiety, to dane mogą być archiwizowane w postaci pliku.

Dostępne są następujące ikony - bloki funkcjonalne:

- analogowe wejścia i wyjścia (z kart przetworników A/C i C/A oraz modułów pomiarowych ADAM),
- szybkie wejście analogowe do czytania danych z karty z użyciem kanału DMA,
- cyfrowe wejścia i wyjścia,
- cyfrowe wejścia zliczające impulsy z karty licznikowej,
- wejście sygnału z termopar (z linearyzacją charakterystyk i kompensacją zimnego końca termopary),
- wejście RS-232 do przyłączania urządzeń pracujących w standardzie transmisji szeregowego RS-232,
- blok programu użytkownika, w którym można umieszczać krótkie programy wykonujące operacje matematyczne, pętle, instrukcje warunkowe,
- blok prostych operacji arytmetycznych i logicznych,
- zapisywanie do pliku i czytanie z pliku danych, zapisywanych w kodzie ASCII lub binarnie,
- timer do sterowania według wskazań zegara komputera,
- blok włączania i wyłączania po przekroczeniu nastawionych wartości granicznych,
- blok uśredniania przebiegu w podanym przedziale próbek,

- blok DDE do wymiany w czasie rzeczywistym danych z innymi aplikacjami, pracującymi w środowisku Windows,
- ekran do prezentacji danych w postaci cyfrowej, wykresów itp.,
- wejście alarmowe do współpracy ze sprzętem wyposażonym w programowane alarmy,
- generator przebiegu rosnącego lub malejącego,
- wejście/wyjście sieciowe do wymiany informacji z innymi strategiami GENIE z komputerami pracującymi w sieci (systemy rozproszone).

Z przedstawionych bloków można zbudować dowolnie skomplikowane i rozbudowane algorytmy pracy (zawierające nawet około tysiąc ikon). Ikony wybiera się myszą z paska narzędziowego, a następnie łączy strzałkami pokazującymi kierunki przepływu danych. Dwukrotne kliknięcie na ikonie otwiera okno, w którym nastawia się wymagane parametry bloku. GENIE nie pozwala na błędne połączenia bloków i nie dopuszcza do niepełnego zdefiniowania parametrów bloków, co ułatwia pracę podczas budowania strategii, nie dopuszczając do uruchamiania błędnych aplikacji

Budowany w taki sposób program jest bardzo uniwersalny i elastyczny, zaś jego struktura zależy od inwencji programującego, który mając tak wygodne w użyciu narzędzie najczęściej nie ogranicza się do prostego rozwiązania zadanego problemu lecz wzbogaca strategię o dodatkowe elementy, ułatwiające pracę użytkownika. Arkusz ikon połączonych liniami ze strzałkami, określającymi wzajemne połączenia i kierunki przepływu informacji, jest nazywany strategią. Pliki z zapisanymi strategiami mają rozszerzenie \*.gni. Strategie można uruchamiać z plików za pomocą osobnego, taniego programu Run-time, który jest udostępniany użytkownikowi jako program dystrybucyjny.

#### Edytor ekranów

Edytor ekranów jest dopełnieniem edytora strategii. Pozwala na jednoczesne wyświetlanie (także w czasie rzeczywistym) wielu okien, które ilustrują zmiany wybranych parametrów, mierzonych wielkości, przebieg procesów itd. Każde okno wymaga odpowiedniego zdefiniowania, do czego służą narzędzia w postaci zbioru ikon reprezentujących różne obiekty graficzne. Ponadto można dodawać do ekranu dowolne elementy graficzne, np. schemat procesu technologicznego, piktogramy obiektów itp.

Na ekranie mogą być następujące elementy graficzne:

- wykresy w funkcji czasu,
- wykresy x-y,
- wykresy słupkowe (pionowe i poziome),
- bitmapy,
- przyciski sterujące,
- „lampki” sygnalizacyjne,
- pokrętła i suwaki,
- wyświetlacze cyfrowe,
- wprowadzanie danych numerycznych,
- wykresy historyczne (histogramy),
- napisy z dowolnych czcionek (true type).

Wielkości i położenie tych obiektów można dowolnie zmieniać. Po dwukrotnym kliknięciu na obiekcie można sprawdzić, skąd pobierane są dane i dokąd mogą być wysyłane oraz można zmienić te nastawy.

## Edytor skryptów

Skryptem określa się w GENIE program, który składa się z poleceń, dzięki któremu można powiązać ze sobą kilka strategii i uruchomić je sekwencyjnie w ustalonej kolejności. GenPad Script Editor jest edytorem takich programów o składni podobnej do języka C. Polecenia skryptu m.in. uruchamiają strategie zapisane w plikach i wyświetlają okna dialogowe. Możliwy jest pełny dostęp do zmiennych definiowanych w strategiach, można je definiować, korzystać z instrukcji warunkowych, pętli itp. Za pomocą skryptu można wprowadzać zabezpieczenia w postaci hasła dostępu oraz określać parametry charakterystyczne dla działania aplikacji. Składnia poleceń jest stosunkowo prosta.

Program GENIE jest rozpowszechniony na całym świecie, zaś na rynku polskim jest obecny od czterech lat, zyskując popularność dzięki niskiej cenie i łatwości tworzenia profesjonalnych aplikacji, także atrakcyjnych graficznie w środowisku Windows. Obecnie (od września 1997 r.) wchodzi na nasz rynek nowa wersja tego oprogramowania o symbolu GENIE 3.0.

## 5.7 GENIE 3.0 - pakiet do tworzenia aplikacji pomiarowo-kontrolnych w środowisku Windows

GENIE jest uniwersalnym, elastycznym programem pracującym w środowisku Windows 3.1/95 pozwalającym na szybkie tworzenie aplikacji zbierających, sterujących oraz wizualizujących dane pomiarowe.

Program charakteryzuje w skrócie:

- Obsługa wszystkich kart i modułów pomiarowych i sterujących Advantech
- Możliwa rozbudowa programu poprzez dołączanie własnych DLL
- Szerokie możliwości komunikacji i wymiany danych: OLE automation, DDE, bazy danych ODBC, C API, sieć, RS-232/485
- Zintegrowany moduł programowania w Visual Basic for Application (Script Designer)
- Uruchamianie wielu strategii jednocześnie, obsługa większych projektów
- Tworzenie raportów i możliwość ich automatycznego drukowania (Report Designer)
- Szybkie tworzenie wielu ekranów wizualizacyjnych z gotowych komponentów techniką drag and drop
- Niska cena

Wersja 3.0 GENIE przyniosła duże zmiany w architekturze programu w porównaniu z wersją 2.0. Program ma teraz strukturę modułową i bardziej otwartą, pozwalającą na wymianę danych z innymi programami. Zwiększyła się ilość obsługiwanych bloków wejścia/wyjścia.

Nowy GENIE przemienił się z pakietu do zbierania i akwizycji danych w oprogramowanie do tworzenia aplikacji z dziedziny automatyki przemysłowej. Położono większy nacisk na możliwość rozbudowy, pojemność i możliwość programowania. Architektura pakietu została zmodyfikowana tak aby była bardziej otwarta i pozwalała na dostęp z zewnątrz do wszystkich danych programu GENIE. Również lista obsługiwanej sprzętu została poszerzona o moduły ADAM-5000.

Opis modułów programu

**Data Center** jest głównym modulem gdzie są przechowywane dane pomiarowe i sterujące. Poza obsługą danych zebranych z kart i interfejsów pomiarowych module posiada zestaw interfejsów do komunikacji z innymi programami poprzez DDE i OLE a także C API. Za pomocą tych interfejsów inne aplikacje mogą pobierać dane z GENIE lub dostarczać dane do programu.

**Driver** jest odpowiedzialny za odczyt danych bezpośrednio z urządzeń zewnętrznych. Driver'y wejścia/wyjścia programu GENIE obsługują wszystkie karty i moduły firmy Advantech (m.in. ADAM-4000/5000 i MIC-2000).

**Task Designer** decyduje o funkcjonalności całej aplikacji. W GENIE wbudowanych jest wiele spotykanych w przemyśle funkcji i bloków sterujących. Użytkownik wybiera blok z paska narzędziowego i umieszcza go na formularzu aplikacji. W porównaniu do wersji 2.0 nowy GENIE pozwala na uruchomienie równocześnie wielu zadań. Można więc podzielić bardziej skomplikowaną aplikację na mniejsze bloki funkcjonalne i uruchomić je jednocześnie.

**Display Designer** odpowiada za utworzenie i wyświetlanie dynamicznych ekranów wizualizacyjnych. Ekran można budować z gotowych komponentów graficznych spotykanych w automatyce przemysłowej. W nowej wersji dołączono narzędzia do rysowania, które pozwalają na dowolne dostosowanie wyglądu ekranu.

**Report Designer** jest odpowiedzialny za tworzenie i generowanie raportów. Użytkownik może sam zaprojektować format swojego raportu w postaci tabeli i określić momenty automatycznego drukowania. Report Designer będzie periodycznie zbierał rzeczywiste dane, formatował i automatycznie drukował w zdefiniowanych odstępach czasu.

**Script Designer** odpowiada za kontrolowanie zadań i analizę oraz przeliczanie danych pomiarowych. GENIE ma wbudowany język Visual Basic for Application łącznie ze środowiskiem do samodzielnego pisania i uruchamiania programów. Aplikacja zaprojektowana w GENIE jest zapisywana jako plik strategii z rozszerzeniem \*.gni. Strategia jest zdefiniowana jako jedno lub więcej zadań (task) plus zero lub kilka ekranów wizualizacyjnych plus jeden lub kilka skryptów. Zadanie (task), ekran wizualizacyjny (display) i skrypt są trzema głównymi elementami przy projektowaniu strategii. Najprostsza strategia ma jedno zadanie bez ekranu i bez skryptu. Strategia nie może funkcjonować bez przynajmniej jednego zadania (task). Zadanie (Task) jest bardzo ważne dla całej strategii. Składa się ze zbioru ikon. Określa ono zależności czasowe skanowania (uruchamiania) poszczególnych ikon. Ikony i komponenty graficzne są elementami z których buduje się strategię. Wszystkie ikony mają taki sam kształt prostokątów z wpisanymi w nie graficznymi symbolami funkcji jak dana ikona wykonuje. Komponenty graficzne zapewniają wizualną komunikację z użytkownikiem (przyciski, lampki, wykresy, suwaki, pokrętła i inne). W momencie uruchomienia aplikacji komponenty graficzne są widoczne na ekranie, natomiast ikony nie są widoczne. Decydują one o funkcji jaką spełnia program "w tle".

Ikony w trakcie przygotowania aplikacji są łączone przez projektanta liniami połączeniowymi. Połączenia pomiędzy ikonami są widziane w okienku Task Designer w fazie przygotowywania aplikacji. Połączenia pomiędzy ikonami są widoczne w postaci linii, natomiast połączeń pomiędzy ikonami i komponentami graficznymi nie widać. Każde zadanie i ekran ma swoje właściwości (ustawienia). Po umieszczeniu ikony lub komponentu graficznego na ekranie ma on ustawienia standardowe. Ustawienia te użytkownik może zmieniać aby przystosować je do swoich potrzeb. Na przykład zadanie (task) ma takie właściwości jak: czas skanowania, częstotliwość próbkowania, sposób startu, sposób stopu. Ekran ma właściwości takie jak: nazwa, aktywność itp.

GENIE składa się z czterech różnych edytorów: Task Designer, Display Designer, Report Designer i Script Designer. Są one przeznaczone kolejno do edycji zadań (tasks), ekranów (displays), raportów (reports) i głównego skryptu (main script). Ponieważ w jednej strategii może być wiele zadań można też otworzyć w GENIE wiele okienek Task Designer. Z tego samego powodu można otworzyć wiele okienek Display Designer. Jednakże może być tylko jeden skrypt główny (main script). Dlatego tylko jedno okienko Script Designer może być otwarte. Z tego też powodu nazwano go skryptem głównym. Dowolna ilość ikon funkcyjnych i wejścia wyjścia oraz komponentów graficznych może być użyta jednocześnie. Ograniczeniem jest jedynie wielkość dostępnej pamięci i szybkość działania. GENIE jest rozwiązaniem doskonale pasującym zarówno do małej aplikacji składającej się z kilku ikon jak i do pełnej automatyzacji większych procesów przemysłowych wymagających wielu wejść/wyjść.

### Visual Basic Script Designer

Nowy moduł GENIE Script Designer jest kompatybilny z Microsoft Visual Basic for Application. Dodano do składni operacje na zadaniach i dostępie do danych w czasie rzeczywistym. Z poziomu skryptu Visual Basic można np. wywołać przesłanie DDE, OLE i ODBC (SQL) do innych aplikacji. VBA Script Designer jest edytorem tekstowym z dodatkowym wspomaganie edycji kodu. Źródło programu w Visual Basicu może być po edycji skompilowane do tzw. p-kodu tak aby w trakcie uruchomienia aplikacji nie było potrzeby ponownej kompilacji. Składnia jest kompatybilna z Microsoft VBA (stosowanego w Excelu, Word, Access i Microsoft Visual Basic). Można źródło programu w Visual Basicu i skompilować bezpośrednio w Script Designer bez żadnej zmiany jeśli są stosowane standardowe komendy. Środowisko edycji i kompilacji w GENIE wygląda identycznie jak środowisku Visual Basic for Application Microsoft.

Nowy GENIE pozwala na uruchomienie strategii w trybie debug, gdzie można krok po kroku, linia po linii analizować skrypt Visual Basicu i skanowanie ikon. Pozwoli to na sprawdzenie działania aplikacji i wyeliminowanie ewentualnych błędów.

Script Designer jest używany do edycji głównego skryptu i skryptów zawartych w zadaniach. Główny skrypt przejmuje kontrolę nad całą aplikacją i jej uruchomieniem. Ustawa właściwości zadań, kontroluje ich uruchomienie i zatrzymanie. Skrypty w zadaniach mogą zmieniać częstotliwość skanowania ikon, czas trwania zadania, zakończenie pracy zadania. Poza możliwością zarządzania zadaniami jest jeszcze wiele komend do operacji na danych wejścia/wyjścia.

Skrypt główny steruje i zarządza zadaniami. Komendy Load/Unload pozwalają na załadowanie całej strategii. komenda Initialize inicjuje wszystkie dane związane z zadaniem. Komenda Start uruchamia zadanie aż do jego zakończenia, Scan uruchamia jedno przejście skanowania wszystkich ikon w danym zadaniu. Pre-task script definiuje właściwości zadania i inicjalizuje dane związane z danym zadaniem. Post-task script obsługuje dane po zakończeniu zadania. Ikona Basic Script jest używana do pobrania i ustawienia danych wejścia/wyjścia

### Task Designer

**GENIE 3.0 Task Designer** w odróżnieniu od powszechnie spotykanych języków programowania (tekst, analiza linia po linii) używa modelu grafu przepływów. Aby zaprogramować funkcje programu użytkownik buduje diagram blokowy przepływu informacji. Bloki funkcyjne (ikony) może wybierać z paska narzędziowego i łączyć liniami określającymi przepływ danych z jednego bloku do drugiego.

Możliwość uruchomienia wielu zadań poprawia szybkość działania. GENIE 3.0 Task designer pozwala na edycję wielu zadań jednocześnie. Każde zadanie znajduje się w swoim własnym okienku i ma swoje własne właściwości (częstotliwość skanowania, start/stop itp). Jeden plik strategii zawiera w sobie wszystkie zadania. Proste strategie z jednym zadaniem działają w ten sam sposób jak w poprzednich wersjach programu. W przypadku strategii z więcej niż jednym zadaniem potrzebny jest skrypt główny sterujący ich pracą. Duże skomplikowane aplikacje mogą być podzielone na kilka mniejszych, prostszych zadań. Nie tylko upraszcza to proces edycji ale również zwiększa szybkość uruchamiania całej aplikacji ponieważ mniejsza liczba bloków jest przetwarzana podczas jednego skanowania.

### **Określanie sekwencji wykonywania bloków (ikon).**

W nowej wersji jest możliwość określenia kolejności w jakiej będą wykonywane poszczególne ikony. Po wybraniu opcji block sequence arrangement program pokazuje przy każdej ikonie numer, który oznacza kolejność jej wykonywania. Użytkownik może zmieniać tę kolejność w zależności od priorytetów wymaganych w danej sytuacji.

**Wirtualny tag** jest nową silną możliwością programu. Osoba przygotowująca aplikację może stworzyć swoją własną ikonę bez potrzeby uciekania się do pisania własnego DLL. Tag wirtualny jest umieszczany przez Task Designer data center razem z innymi wbudowanymi w program ikonami. Wirtualne tagi są dostępne globalnie dla wszystkich zadań, więc można je używać do wymiany danych pomiędzy zadaniami.

### Display Designer

Edytor ekranów pozwala na szybkie stworzenie ekranów graficznych aplikacji. W nowej wersji dodano narzędzia do rysowania. Można bezpośrednio na ekranie rysować symbole pomp, zaworów i innych urządzeń za pomocą linii, kwadratów, kół itp. Kolory i wielkości tych obiektów mogą być zmieniane. Z elementów można zbudować obiekt (Make Object). Gotowy obiekt można rozbić na poszczególne elementy (Break Object), skalować, obracać itp.

### Report designer

Raport Designer programu GENIE to nowy moduł pozwalający na przygotowanie i edycję zawartości raportów. Zbiera on również dane w czasie działania aplikacji w określonych odstępach czasowych i automatycznie drukuje na drukarce. Raporty mogą być również drukowane ręcznie na życzenie operatora.

Moduł Raport Designer posiada pięć głównych funkcji:

- zbieranie danych,
- konfiguracja formatu raportu,
- raport scheduler,
- generowanie raportu,
- generowanie raportu alarmów.

Funkcja zbierania danych zapamiętuje dane w bieżącej bazie danych dla każdego zdefiniowanego tagu w okresach ustalonych przez użytkownika. Jest ona przeznaczona dla generacji raportów, minimalny czas zbierania danych dla punktu tag wynosi 10 minut.

Konfiguracja formatu raportu udostępnia użytkownikowi okienka dialogowe konfiguracji formatu raportu i czasów drukowania raportów. Pozycje na raportach są zorganizowane w formie tabeli, którą użytkownik wypełnia tekstem lub komendami. Informacja o formacie każdego raportu jest

przechowywana w postaci pliku i pobierana z niego w czasie generowania raportu. Funkcja generowanie raportu łączy informacje z pliku opisującego format raportu i pliku bazy danych i generuje raport na drukarkę. W tej chwili raport jest ograniczony do postaci tabeli, ale graficzne raporty z dziennymi wykresami trendów są w przygotowaniu i będą dołączone później. Raport scheduler monitoruje czas i steruje w odpowiednich momentach generacją raportów na drukarkę. Informuje również użytkownika o drukowaniu raportu. Raport alarmów generuje raporty zawierające czas wystąpienia alarmów oraz informację czy alarm został potwierdzony.

## Open Data Center

Data Center jest modułem programu, gdzie wszystkie dane sterujące i zbierane z urządzeń są przechowywane. Zawarte tam dane można w prosty sposób przesać do innych programów lub systemów informacyjnych.

## 6. Budowa i uruchomienie układu modelowego do prób laboratoryjnych

Praca obejmowała zbudowanie próbnych i rzeczywistych układów akwizycji i sterowania pomiarami z wykorzystaniem uruchomionych szkieletowych strategii. Zestawiano układy z wykorzystaniem dwóch rodzajów urządzeń produkcji firmy Advantech:

- modułów serii ADAM 4000,
- karty analogowo-cyfrowej PCL-818.

### 6.1 Praca z oprogramowaniem GENIE

Szczegółową analizę przydatności oprogramowania do sterowania pomiarami (i procesami) oraz do akwizycji wyników pomiarów w warunkach laboratoryjnych i systemach rozproszonych w terenie, przeprowadzono z użyciem programów GENIE firmy Advantech (USA). Były to wersje demonstracyjne (GENIE 2.0 i 3.0) oraz pełny pakiet wersji GENIE 2.12. Praca z wersjami demo była na tyle obiecująca, że postanowiono szerzej poznać możliwości tego systemu, tym bardziej, że zarówno oprogramowania jak i komponenty sieci pomiarowych i sterujących są stosunkowo niedrogi, a firma oferuje bardzo bogaty katalog urządzeń.

Pracę rozpoczęto od programów demonstracyjnych, które przedstawiają poglądowo filozofię systemu, a jednocześnie pozwalają aktywnie budować własne programy symulujące rzeczywiste układy sterowania obiektami i akwizycji mierzonych parametrów układu. Budowanie programu przebiega dwuetapowo: najpierw buduje się tzw. strategię, a po jej programowym sprawdzeniu, uruchamia się program symulujący działanie.

Strategia składa się z jednego lub więcej „zadań” (task), które mogą być bardzo rozbudowane i wykorzystane do wszelkich zastosowań automatyki (sterowania i pomiarów). Edytor strategii umożliwia łatwe (w środowisku Windows lub DOS) i elastyczne programowanie za pomocą intuicyjnie budowanych schematów blokowych (z elementów wybieranych jako ikony) w postaci paneli operatorskich oraz monitorów ekranowych do śledzenia w czasie rzeczywistym zachowania obiektów i sterowania odpowiednimi „przyciskami” w celu dynamicznego sterowania pomiarami (procesami).

Pełny pakiet GENIE 2.12 zawiera biblioteki bloków obejmujących funkcje sterowania w standardzie przemysłowym, funkcje matematyczne oraz drivery obsługujące karty pomiarowe i inne bloki I/O np. typu ADAM. Program umożliwia też budowanie i wprowadzanie własnych bloków logicznych i graficznych oraz sterowanie urządzeniami o innym standardzie niż proponowany przez producenta.

Podczas nauki pracy z programem początkowo modyfikowano demonstracyjne przykłady, zamieszczone przez producenta, następnie budowano własne strategie. Program w znacznym



stopniu eliminuje nieprawidłowości podczas konfigurowania systemu sterowania pomiarami, stosując podpowiedzi i eliminując błędne połączenia bloków oraz ich nieprawidłową konfigurację. Istotną zaletą programu jest możliwość symulacyjnego uruchamiania projektowanych zadań lub ich części (podprogramów), zanim nastąpi praca z obiektami rzeczywistymi, co w oczywisty sposób ułatwia pracę i chroni w znacznym stopniu przed awariami.

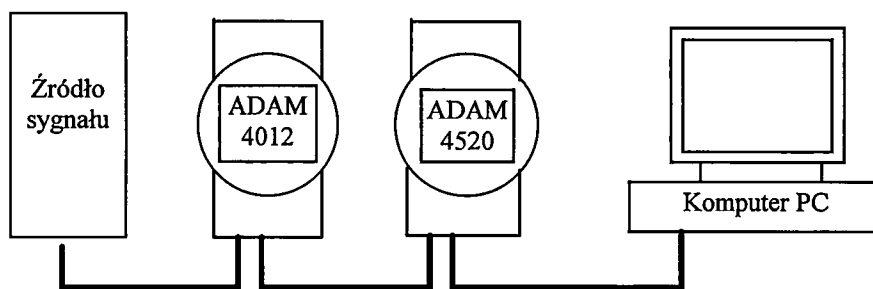
## 6.2 Układ akwizycji sygnałów pomiarowych z wykorzystaniem modułów serii ADAM 4000 prod. Advantech

Moduły ADAM 4000 są przeznaczone do pracy w sieciach rozproszonych akwizycji i sterowania obiektów przemysłowych, oczyszczalni itp. Mogą (w zależności od typu) służyć zarówno do sterowania obiektów jak i do akwizycji sygnałów pomiarowych: analogowych napięciowych, prądowych i z termopar, do zliczania impulsów, jako częstotliwościomierze itp. Sygnały są przesyłane w standardzie RS-485, zaś do komunikacji z komputerem PC przez wejście szeregowo RS-232 jest stosowany osobny moduł - adapter.

W celu praktycznego przetestowania systemu akwizycji sygnałów analogowych z użyciem modułów ADAM i pakietu programów GENIE, zestawiono najprostszy układ, przedstawiony na rysunku.

Zawierał on następujące zespoły:

- komputer PC z zainstalowanym programem GENIE i driverami do modułów serii ADAM 4000,
- ADAM 4012 - jednokanałowy moduł przetwornika analogowo-cyfrowego z wejściami napięciowymi i prądowym,
- ADAM 4520 - konwerter RS-485 / RS-232,
- źródło sygnału pomiarowego,
- zasilacz modułów ADAM (10 - 30 V), przewody i złącza.



Konfiguracja testowanego systemu akwizycji

Pracę rozpoczęto od konfiguracji modułu ADAM 4012 za pomocą programu *adam.exe*, który umożliwia proste zaprogramowanie wyboru portu, rodzaju sygnału (napięciowy lub prądowy), zakresu pomiarowego i in. Kalibrowano także wybrany zakres pomiarowy (dwupunktowo - kalibracja zera i wartości maksymalnej). Możliwe jest za jego pomocą także obsługiwanie modułu: wysyłanie komend sterujących pracą i monitorowanie wartości mierzonych sygnałów (bez użycia wyspecjalizowanych programów do akwizycji danych).

Następny etap polegał na testowaniu akwizycji sygnałów napięciowych według strategii opracowanej wcześniej w programie GENIE. Jako źródła sygnałów używano kalibratora napięć oraz generatora sygnałów sinusoidalnych i prostokątnych. Przed uruchomieniem strategii ustala się także częstotliwość próbkowania lub odstęp między pomiarami oraz sposób zapisu danych

do pliku (co było przewidziane w zadaniu, poza wizualizacją sygnału na ekranie w czasie rzeczywistym).

Opisane próby wypadły pomyślnie - poznano możliwości praktycznej akwizycji sygnału, możliwości testowanych modułów, zwłaszcza w zakresie dopuszczalnych i niezbędnych częstotliwości próbkowania oraz sposobów zapisu do plików w celu archiwizacji i dalszego wykorzystania, np. do ich przetwarzania w innych wyspecjalizowanych programach (pliki wyników w formacie ASCII wprowadzono pomyślnie do programów EXCEL, HARWARD GRAFICS, STATGRAFICS).

Przeprowadzono także próby praktycznej akwizycji danych pomiarowych w Laboratorium Przepływów DPQ. Źródłem sygnału był miernik przepływomierza, który ma wyjście prądowe 4 - 20 mA. Doprowadzenie sygnału prądowego do modułu ADAM 4012 (i innych podobnych) wymaga zastosowania dokładnego rezystora bocznikującego i oczywiście odpowiedniej konfiguracji i kalibracji wejścia z poziomu programu *adam.exe*. Przedstawione próby wypadły pomyślnie.

### 6.3 Układ akwizycji sygnałów pomiarowych z użyciem karty pomiarowo-sterującej PCL-818

Karta pomiarowo-sterująca PCL-818 prod. Advantech należy do grupy kart analogowo-cyfrowych, które mogą być montowane bezpośrednio w komputerze PC. Jest wyposażona w 12-bitowe przetworniki A/D i D/A, obsługujące 16 kanałów wejść analogowo-cyfrowych i 2 wyjścia cyfrowo-analogowe. Ponadto karta ma 16 wejść-wyjść cyfrowych.

Podczas prób praktycznie testowano akwizycję (z użyciem programu GENIE) czterech sygnałów napięciowych, pochodzących od wzmacniaczy czujników temperaturowych. Czynności przygotowawcze są podobne, jak w pracy z przetwornikami ADAM, tzn. ustala się adresy używanych kanałów, ich wzmacnienie (zakres), częstotliwość próbkowania itd. w programie EXE karty, a następnie uruchamia wcześniej opracowaną strategię z poziomu programu GENIE Runtime. Testowano też możliwość sterowania cyfrowego za pośrednictwem karty na przykładzie włączania odpowiednich napięć w zasilaczu z wejściem cyfrowym.

W porównaniu z modułami ADAM użycie karty pomiarowo-sterującej umożliwia znacznie większą częstotliwość próbkowania mierzonych napięć, co jest oczywiste, ze względu na szybką transmisję sygnałów przez złącza równoległe.

## 7. Opanowanie metod obliczania i eliminacji błędów pomiaru

Teorii błędów pomiaru poświęcono wiele prac szczegółowo opisujących ich przyczyny i metody eliminacji. Nie jest w tym miejscu możliwe przeprowadzenie szczegółowych rozważań na ten temat. W dalszej części zasygnalizowano jedynie podstawowe problemy, których rozwinięcia należy szukać w ogólnie dostępnych opracowaniach z zakresu metrologii.

### 7.1 Model systemu pomiarowego

System pomiarowy jest to zbiór elementów tworzących strukturę realizującą założony algorytm pomiarowy. System pomiarowy realizuje w ogólności szereg operacji, wśród których najważniejsze to:

1. wytwarzanie sygnałów  $u$ , wyuszających zjawiska w obiekcie mierzony (ang. actuating)
2. odbiór sygnałów  $y$ , wytwarzanych przez obiekt mierzony (ang. sensing)
3. kondycjonowanie sygnałów  $u$  i  $y$  (ang. conditioning), czyli ich przetwarzanie wewnątrz systemu pomiarowego, nie zmieniające ich treści lecz jedynie formę - naturę fizyczną, poziomy energetyczne, kody itd.

4. przetwarzanie główne sygnałów  $u$  i  $y$  (ang. processing), czyli realizację operatora  $\mu$  określającego mesurand
5. wskazywanie (ang. display), czyli formowanie sygnału, którego treścią jest wartość mesurandu, i którego treść może być bezpośrednio odczytana przez człowieka lub urządzenie, będące odbiornikiem wyniku pomiaru
6. sterowanie operacjami realizowanymi przez system pomiarowy (ang. control)

Do formowania sygnałów  $u$  są stosowane różnego rodzaju sterowane źródła sygnałów: generatory, kalibratory itp. W zakresie pomiarów statycznych formuje się sygnały  $u$  o określonych wartościach, poziomie energetycznym i naturze; w zakresie pomiarów dynamicznych dochodzi jeszcze formowanie określonych rozkładów czasowych lub częstotliwościowych.

Odbiór sygnałów  $y$  jest realizowany przez czujniki pomiarowe (ang. sensors), zwane także przetwornikami wejściowymi. Polega on na ich przetwarzaniu z zachowaniem (w granicach błędu) niezmienną treść, połączonym zwykle ze zmianą natury fizycznej.

Kondycjonowanie jest przetwarzaniem dopasowującym sygnały z czujników do wejścia procesora, a także sygnały wyjściowe procesora do wymagań urządzeń wykonawczych, generujących sygnały  $u$  oraz wskazujących wyniki pomiarów. Najczęściej spotykane formy kondycjonowania sygnałów w systemie pomiarowym - to: wzmacnianie i tłumienie, filtracja, modulacja i demodulacja, przetwarzanie analogowo-cyfrowe i cyfrowo- analogowe.

Przetwarzanie główne jest realizowane w systemie pomiarowym przez procesor. Obecnie w systemach pomiarowych rolę procesora spełnia zwykle komputer.

Wskazywanie jest realizowane przez urządzenia wskazujące i rejestrujące.

Celem systemu pomiarowego jest wyznaczenie wartości mesurandu  $x$  lub wektora mesurandów  $x = [x_1 | x_2 \dots | x_M]^T$ . W ogólnym przypadku wartościami mesurandów mogą być liczby rzeczywiste, ciągi liczb, funkcje itd. Dalsze rozważania ograniczono do przypadku gdy  $x$  jest wektorem liczb. Sygnał wyjściowy systemu pomiarowego - jednowymiarowy  $\vartheta$  lub wielowymiarowy  $v = [\vartheta_1 | \vartheta_2 \dots | \vartheta_M]^T$  - przynosi informację o wartości mesurandu. Model systemu pomiarowego konstruuje się podobnie jak model przetwornika pomiarowego. Dalsze rozważania ograniczono do modelu statycznego. Podstawowy model systemu pomiarowego (nie uwzględnający błędów) ma postać:

$$\begin{aligned} x &= \mu(y, u) \\ v &= x \\ x \in X, y \in Y, u \in U \end{aligned} \tag{1}$$

gdzie:  $y$  - sygnały wytwarzane przez obiekt mierzony i odbierane przez system pomiarowy;  $u$  - sygnały pobudzające obiekt mierzony do generacji sygnałów  $y$  (formowane przez system pomiarowy);  $X, Y, U$  - zbiory sygnałów i mesurandów;  $\mu$  - operator modelujący zależność mesurandów  $x$  od sygnałów  $y, u$ .

Dla obiektu mierzonego elementy wektora  $u$  są sygnałami wejściowymi (wymuszeniami), a elementy wektora  $y$  - sygnałami wyjściowymi (odpowiedziami). Dla systemu pomiarowego wektory  $u$  i  $y$  - z informacyjnego punktu widzenia - są sygnałami wejściowymi. Będziemy je nazywali sygnałami mierzonymi.

Przedstawiony model systemu pomiarowego jest uogólnieniem modeli pomiarów metodą bezpośrednią i pośrednią.

Mesurand  $x$  mierzony metodą bezpośrednią jest jednocześnie sygnałem mierzonym  $\psi$ . Mesurand mierzony metodą pośrednią jest wyznaczany na podstawie pomiarów bezpośrednich  $M$  wielkości (sygnałów mierzonych)  $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_M$  jako:

$$\chi = f(\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_M)$$

gdzie:  $f$  - funkcja wiążąca mesurand  $\chi$  z wielkościami  $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_M$ . Obliczanie wartości najczęściej wykonywane jest przez komputer.

W wielu przypadkach obiekt mierzony trzeba pobudzać do generacji sygnałów  $y$ . I tak np. w omierzeniu formowane jest napięcie wywołujące przepływ prądu w mierzony oporniku.

Rozszerzony model systemu pomiarowego składa się z modelu podstawowego postaci (1) uzupełnionego modelem błędu. Dla systemu pomiarowego jednowymiarowego, mierzącego metodą bezpośrednią, równanie modelu rozszerzonego ma postać:

$$\hat{\chi} = \chi + \Delta_{MS}\chi$$

gdzie:  $\hat{\chi}$ ,  $\chi$  - prawdziwe wartości wskazania mesurandu;  $\hat{\chi}$  - estymata wartości mesurandu, dana przez wskazanie systemu pomiarowego;  $\Delta_{MS}\chi$  - prawdziwy błąd systemu pomiarowego, zwany także błędem instrumentalnym.

Najprostszy model błędu, ale i najczęściej używany, nakłada na prawdziwy błąd systemu pomiarowego następujące ograniczenia:

$$|\Delta_{MS}\chi| \leq \overline{\Delta_{MS}\chi} \text{ dla } \chi \in [X_{\min}, X_{\max}] \text{ i } \mathbf{w} \in \mathbf{W}$$

gdzie:  $[X_{\min}, X_{\max}]$  - zakres mierzonych wartości mesurandu;  $\mathbf{w}$  - wektor wielkości wpływających;  $\mathbf{W}$  - nominalne warunki pracy systemu;  $\overline{\Delta_{MS}\chi}$  - instrumentalny błąd graniczny systemu

W systemach pomiarowych błąd graniczny  $\overline{\Delta_{MS}\chi}$  normalizuje się zwykle jako błąd przetwornika pomiarowego. W systemach analogowych stosuje się normalizację addytywną, a w systemach cyfrowych - normalizację addytywno - multiplikatywną.

Niekiedy stosuje się bardziej złożony model błędu, rozdzielający go na składową identyfikowalną co do wartości  $\hat{\theta}$  i składową identyfikowalną co do przedziału  $\pm \bar{\theta}$ .

$$\Delta_{MS}\chi = \hat{\theta} \pm \bar{\theta}$$

Składowa identyfikowalna co do wartości musi być dana w postaci analitycznej, najczęściej w postaci liniowej zależności od wielkości wpływających

$$\hat{\theta} = \sum_{i=1}^M a_m \Delta \omega_m$$

gdzie:  $\Delta \omega_m$  ( $m=1,2,\dots,M$ ) - odchylenie wartości wielkości wpływających od wartości nominalnych,  $a_m$  - współczynnik wrażliwości błędu na wielkość wpływającą  $\omega_m$ .

Składowa ta może być dana w formie tabelarycznej  $\hat{\theta}(\chi)$ , czyli w postaci tzw. krzywej poprawek. Jako estmatę wartości mesurandu przyjmuje się:

$$\hat{\chi} = \hat{\chi} - \hat{\theta}$$

Uwzględnianie poprawki może być wykonane wewnątrz systemu pomiarowego przez komputer. Niekiedy model rozszerzony systemu pomiarowego wymaga modyfikacji polegającej na rozdzielaniu błędów przetwarzania sygnałów mierzonych  $\Delta_{MSy}$  i  $\Delta_{MSu}$ , oraz błędów przetwarzania głów-

nego i wskazania  $\hat{\Delta}_{MS}\vartheta$ . Jeżeli operator  $\mu$  jest skalarną funkcją wektorów  $\mathbf{y}$  i  $\mathbf{u}$ , to całkowity błąd systemu pomiarowego można określić jako:

$$\hat{\Delta}_{MS}\chi = \hat{\Delta}_{MS}\vartheta + \sum_{j=1}^M K_{uj} \hat{\Delta}_{MS}v_j + \sum_{m=1}^M K_{\psi m} \hat{\Delta}_{MS}\psi_m$$

gdzie:  $K_{uj}$ ,  $K_{\psi m}$  - współczynniki wrażliwości wyniku pomiaru na błędy sygnałów mierzonych  $v_j$  i  $\psi_m$ ;

Model błędu ma zwykle postać normalizacji addytywnej lub addytywno-multiplikatywnej, określających błędy graniczne poszczególnych składowych. Graniczny błąd systemu pomiarowego wyznacza się najczęściej przyjmując probabilistyczny model błędów składowych. Model z rozdzielonymi błędami stosuje się przede wszystkim do systemów pomiarowych z programowo zmieniającym operatorem  $\mu$ .

## 7.2 Model pomiaru

### Uwagi ogólne

Celem pomiarów jest wyznaczenie wartości określonych mesurandów. Dla uproszczenia rozważań dalej mowa będzie o jednym mesurandzie  $\chi$ . Ponieważ jednak wyznaczenie prawdziwej wartości mesurandu  $\chi$  nie jest możliwe, w praktyce celem pomiaru jest wyznaczenie pewnej estymaty  $\tilde{\chi}$  prawdziwej wartości mesurandu oraz modelu błędu

$$\hat{\Delta}\chi = \tilde{\chi} - \chi$$

którym jest ona obarczona. Błąd ten można rozłożyć w ogólnym przypadku na trzy składowe: błąd systematyczny identyfikowalny co do wartości  $\hat{\theta}$ , błąd systematyczny identyfikowalny co do przedziału  $\pm \hat{\theta}$  i błąd przypadkowy  $e$ , modelowany zmienną losową, identyfikowalną co do gęstości prawdopodobieństwa albo tylko przedziału ufności  $\pm \sqrt{e}_{1-\alpha}$ . Przypuśćmy, że zidentyfikowany model błędu ma postać:

$$\hat{\Delta}\chi = \hat{\theta} \pm [\hat{\theta} + \sqrt{e}_{1-\alpha}]$$

W rezultacie wynik pomiaru jest parą  $\{\hat{\chi}, \hat{\Delta}\chi\}$ , której pierwszy element:

$$\hat{\chi} = \tilde{\chi} - \hat{\theta}$$

jest skorygowana estymatą wartości mesurandu, a drugi:

$$\hat{\Delta}\chi = \hat{\theta} + \sqrt{e}_{1-\alpha}$$

jest granicznym błędem pomiaru.

### Model pomiaru

Rozważania ograniczone zostaną do pomiarów typu statycznego, wykonywanych na obiektach o jednym wyjściu i  $J$  wejściach.

Niech przedmiotem badania będzie obiekt mierzony o danej strukturze modelu matematycznego:

$$\psi = g(\mathbf{u}, \mathbf{p})$$

gdzie:  $\mathbf{u}$  - wektor sygnałów formowanych przez system pomiarowy i pobudzających obiekt mierzony;  $\psi$  - sygnał skalarny generowany przez obiekt mierzony w odpowiedzi na sygnał wymuszający

jący  $\mathbf{u}$ , odbierany przez system pomiarowy;  $\mathbf{p}$  - wektor parametrów modelu obiektu. Niech dana będzie ponadto specyfikacja wektora  $\mathbf{u}$  o postaci:

$$\mathbf{u} \in \mathbf{U} = \mathbf{U}_1 \times \mathbf{U}_2 \times \dots \times \mathbf{U}_j \subset \mathbf{R}^J$$

gdzie:  $J$  - wymiar wektora  $\mathbf{u}$ ,  $\mathbf{U}_j = [U_{jmin}, U_{jmax}]$ ,  $j=1,2, \dots, J$ .

Celem pomiaru jest wyznaczenie wartości  $\mathbf{M}$  mesurandów skalarnych  $\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_M$ , tworzących wektor mesurandów  $\mathbf{x}$  określony równaniem:

$$\mathbf{x} = \mu(\mathbf{y}, \psi)$$

gdzie  $\mu$  - operator definiujący mesurandy.

Składowymi wektora mesurandów mogą być wielkości modelujące obiekt, charakterystyki zależności między wielkościami wyjściową  $\psi$  i wejściowymi  $\mathbf{u}$ , parametry  $\mathbf{p}$  równań modelu, charakterystyki probabilistyczne wielkości modelujących obiekt.

Pomiar jest realizowany przez system pomiarowy, który formuje sygnały  $\mathbf{u}$  pobudzające obiekt i odbiera sygnały  $\psi$  generowane przez obiekt. Informacje przenoszone przez te sygnały są w systemie przetwarzane według wzoru:

$$\hat{\mathbf{x}} = \tilde{\mu}(\mathbf{y}, \psi)$$

tak, aby wskazania  $\hat{\mathbf{x}}$  systemu przynosiły informację o wartości mesurandów. Oznacza to, że operator  $\tilde{\mu}$  musi być pewną aproksymacją operatora  $\mu$ .

Podstawowy model pomiaru opiera się na założeniach idealizujących, które nigdy nie mogą być spełnione w praktyce. Fakt ten jest źródłem błędów pomiaru. Do ich oceny używa się **rozszerzonego modelu pomiaru**. Głównymi przyczynami powstawania błędu pomiaru są:

1. nieadekwatność przyjętego podstawowego modelu obiektu mierzonego
2. niedokładność systemu pomiarowego
3. zjawiska związane ze sprzężeniem obiektu mierzonego z systemem pomiarowym
4. metoda wyznaczania mesurandu, tzn. metoda realizacji operatora  $\mu$ .

Analizując błąd pomiaru, niekiedy rozkłada się go na cztery główne składowe, odpowiadające czterem wymienionym wyżej przyczynom. Mamy więc błąd modelu obiektu (błąd modelu), błąd systemu pomiarowego (zwany także błędem instrumentalnym), błąd interfejsu i błąd metody. Pożądany ten ma jednak w dużym stopniu charakter umowny, gdyż składowe błędy - zwłaszcza błąd modelu obiektu i błąd interfejsu - są ze sobą ściśle powiązane. Dlatego też ograniczono się do wyodrębnienia wypadkowego błędu sygnału odbieranego przez system:

$$\hat{\Delta}\psi = \tilde{\psi} - \hat{\psi}$$

wypadkowego błędu wektora sygnałów pobudzających obiekt mierzony:

$$\hat{\Delta}\mathbf{u} = \hat{\mathbf{u}} - \tilde{\mathbf{u}}$$

oraz błędowi realizacji operatora definiującego mesurandy  $\mu$ . Te bowiem błędy mają względnie jednoznacznie określoną lokalizację przestrzenną i mogą być wyznaczone niezależnie. Z drugiej strony ich identyfikacja wystarcza do oszacowania błędu pomiaru:

$$\hat{\Delta}\mathbf{x} = \hat{\mathbf{x}} - \hat{\mathbf{x}} = \tilde{\mu}(\tilde{\psi}, \tilde{\mathbf{u}}) - \mu(\hat{\psi}, \hat{\mathbf{u}})$$

Analiza przyczyn powstawania tego błędu ma zasadnicze znaczenie dla opracowania skutecznych metod jego ograniczenia.

Błąd modelu wynika z nieadekwatności przyjętej struktury modelu obiektu, czynników zakłócających działających na obiekt oraz niestałości wielkości wpływających.

Błąd systemu pomiarowego został dokładnie omówiony wcześniej. Jego dwie główne składowe to błąd przetwarzania (detekcji i kondycjonowania) sygnałów mierzonych  $\psi$  i  $u$  oraz błąd przetwarzania głównego i formowania wskazań  $\hat{x}$ .

Błąd interfejsu może mieć dwie składowe. Pierwsza z nich ma swoje źródło w zjawiskach zachodzących na styku obiekt mierzony - system pomiarowy, prowadzących do powstania różnic między nadawanymi i odbieranymi wartościami sygnałów  $\psi$  i  $u$ . Jeżeli kanał transmisji ma charakter elektryczny, to źródłami tych błędów będą szumy, zakłócenia, spadki napięcia i upływy prądu.

Druga składowa błędu interfejsu jest spowodowana wpływem systemu pomiarowego na zjawiska zachodzące w obiekcie mierzonym; miarą jej mogą być zmiany wartości sygnałów  $\psi$  i  $u$  spowodowane sprzężeniem obiektu z systemem.

Błąd metody wynika z nieidentyczności operatorów  $\mu$  i  $\tilde{\mu}$ , spowodowanej ograniczeniami praktycznej realizacji operatora  $\tilde{\mu}$ . Operator  $\mu$ , definiujący mesurandy, może zawierać np. całkowania w granicach  $[0, \infty)$  lub  $(-\infty, +\infty)$ ; praktycznie realizowany operator  $\tilde{\mu}$  musi zawierać całkowania w granicach skończonych. Operator  $\tilde{\mu}$  jest zwykle realizowany numerycznie przez komputer.

W przypadku ogólnym może występować jeszcze błąd odczytu wyniku pomiaru przez człowieka.

## 8. Podsumowanie

W wyniku wykonania pracy stwierdzono przydatność wybranego sprzętu i oprogramowania do realizacji systemów monitoringu dla oczyszczalni ścieków. Uzyskano również zdolność samodzielnego projektowania takich systemów. Stanowi to dobrą podstawę do dalszego rozwoju prac w kierunku wzbogacenia możliwości systemów pomiarowych dla gospodarki wodno ściekowej o zadania sterowania urządzeniami wykonawczymi jak np. pompy i zawory.