

mgr inż. Paweł Mróz

mgr inż. Krzysztof Janczewski

Centrum Naukowo-Produkcyjne Automatyki Energetycznej S.A.

51-649 Wrocław ul. Bacciarellego 54 tel. 0 71 48 30 31

## MASTER FT/NT - NOWOCZESNY SYSTEM AUTMATYKI.

### ZASTOSOWANIE STRUKTURY FAULT TOLERANT I SYSTEMU WINDOWS NT

#### *Streszczenie:*

*Prezentacja nowej wersji mikroprocesorowego systemu automatyki MASTER FT/NT. Omówienie struktury systemu oraz podstawowych właściwości systemu. Przedstawienie rozwiązań mających na celu podniesienie niezawodności systemu i przyjazności oprogramowania.*

#### 1. WSTĘP

Pierwszy człon nazwy systemu (wyraz MASTER) to nawiązanie do poprzednika - systemu MASTER-3, który powstał we współpracy Centrum Naukowo-Produkcyjnego Automatyki Energetycznej i Instytutu Automatyki Systemów Energetycznych we Wrocławiu. System ten, stale rozwijany, znalazł zastosowanie w kilku elektrowniach i elektrociepłowniach. Wieloletnie doświadczenia CNPAE związane z realizacją systemów automatyki, stały się podstawą do opracowania założeń dla nowego systemu, zgodnego z tendencjami światowymi. Przy formułowaniu wymagań położono szczególny nacisk na dwa aspekty :

- pewność działania systemu (odporność zarówno na uszkodzenia sprzętowe jak i na błędy ludzi)
- przyjazność systemu dla obsługi, zarówno operatorów jak i automatyków obsługujących system.

Decydującym momentem realizacji koncepcji FT (Fault Tolerant) było skonstruowanie i oprogramowanie w CNPAE nowego modułu procesora stacji automatyki oznaczonego

symbolem EMC-5. Umożliwił on realizację w pełni redundancyjnej struktury nowego systemu, składającego się z podwójnej magistrali systemowej, zredundowanych Stacji Przetwarzających, wzajemnie rezerwujących się Stacji Graficznych. Niemniej przełomowym momentem było przyjęcie w pełni wielozadaniowego, wielowątkowego 32 bitowego systemu operacyjnego Windows NT jako bazy programowej dla realizacji Stacji Graficznych.

W ostatnich latach zdecydowana większość nowych, przemysłowych systemów komputerowych wykorzystuje Windows NT.

Prace prowadzone przez CNPAE zbiegły się w czasie z opracowaniem w IASE nowych modułów standardu MASTER-3 w tym procesora (sterownika) EMC-2 o zdecydowanie większych możliwościach programowych. Realizacja wszystkich nowych funkcji FT stacji automatyki stała się możliwa po wprowadzeniu modyfikacji w standardowym oprogramowaniu operacyjnym modułu EMC-2.

System MASTER-FT/NT jest oferowany w pełnym zakresie przez CNPAE SA od końca 1995r. Do tej pory został on już z powodzeniem zastosowany w El. Bełchatów (Sprężarkownia Suchego Odpopielania). Kolejny zrealizowany projekt to kompleksowa automatyzacja kotła OP-130 w Elektrociepłowni Czechnica.

Założenia do systemu powstały na podstawie wieloletnich doświadczeń i dogłębnej znajomości większości dużych, światowych systemów stosowanych w energetyce. Starano się też uwzględnić liczne wnioski i uwagi pojawiające się na etapach projektowania, oprogramowania, uruchomień, optymalizacji oraz w czasie normalnej eksploatacji. Jako bazę przyjęto zakres automatyzacji i wymagania jak dla bloku energetycznego 360 MW.

Podsumowując, MASTER-FT/NT to system zmodernizowany pod względem struktury, sposobu komunikacji, diagnostyki i podstawowych modułów, ale zachowujący jednocześnie wszystkie sprawdzone zalety swoich poprzedników.

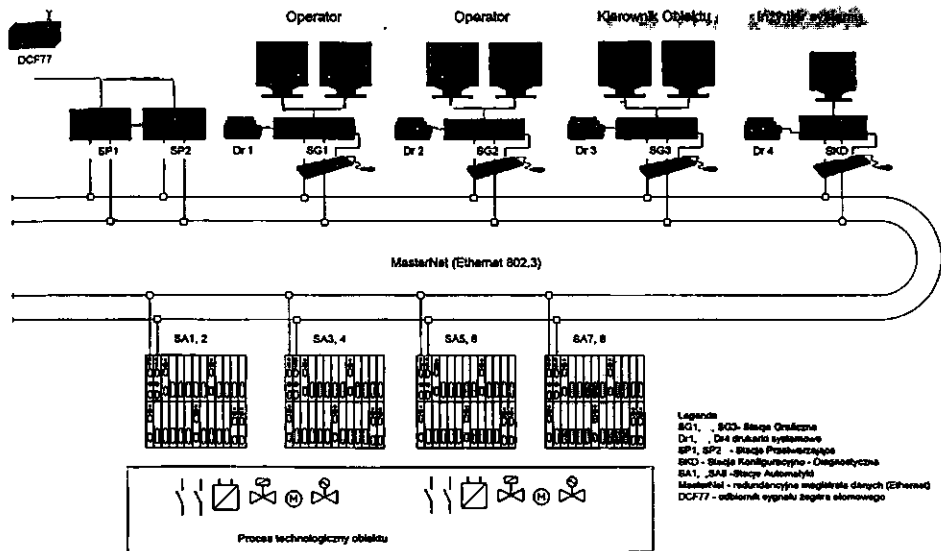
## 2. PODSTAWOWE ELEMENTY I STRUKTURA SYSTEMU

Na rysunku poniżej przedstawiono typową strukturę systemu MASTER-FT/NT pozwalającą na wyjaśnienie funkcji głównych elementów składowych .

Wyróżnia się dwie główne części systemu połączone podwójną magistralą MasterNet :

Stacje Automatyki

Stację Operatorską



Konfiguracja sprzętowa systemu automatyki Master FT/NT

## 2.1 Stacje Automatyki

Obecna wersja systemu pozwala na obsługę maksymalnie 30 Stacji Automatyki. W każdej stacji automatyki można wyróżnić dwa elementy funkcjonalne : wzajemnie rezerwujące się procesory stacyjne (komunikacyjne) typu EMC-5 oraz procesory (sterowniki) typu EMC-2 wraz z modułami wejść/wyjść sygnałowych tworzącymi tzw. ogniwa.. Programy użytkowe związane z funkcjami sterowniczymi, regulacyjnymi, zabezpieczającymi, czy tylko zbierania informacji pomiarowych z obiektu są realizowane w ramach danego ogniwa przez procesor EMC-2. Liczba modułów wejściowych i wyjściowych dobierana jest stosownie do liczby sygnałów obiektowych obsługiwanych przez program ogniwa. Wymiana danych między procesorem ogniwa a modułami odbywa się po tzw. dolnej magistrali ogniwowej. Na etapie projektu można swobodnie decydować o wielkości ogniw. W ramach stacji może być maksymalnie 6 ogniw. Stacja automatyki wykonywana jest w wersjach jedno lub dwukasetowych. Najczęściej spotykanym rozwiązaniem stacji automatyki jest stacja dwukasetowa zawierająca 4 ogniwa. Komunikacja dwustronna między ogniwami a dwoma procesorami stacji automatyki odbywa się poprzez magistralę górną (magistrala lokalna, stacyjna). Procesory stacyjne EMC-5 są umieszczane w określonych, stałych miejscach kasety ze względu na redundancję zasilania i możliwość ewentualnej ich wymiany

pod napięciem (hot swap). Procesory EMC-5 są połączone między sobą krótkim złączem równoległym zapewniającym diagnostykę, bezkolizyjną pracę i detekcję stanów zakłóceń wymagających pełnego włączenia do pracy procesora rezerwowego. Czas przełączenia mieści się w cyklu 100 ms. Każdy procesor EMC-5 łączy się bezpośrednio z magistralą systemową MasterNet. Zgodnie z regułami FT każdy procesor stacyjny jest zasilany z oddzielnego, indywidualnego zasilacza, który z kolei jest zasilany z oddzielnego UPS.

Po załączeniu systemu jeden procesor inicjuje się jako wiodący a drugi jako rezerwowo.

### 2.1.1 Elementy składowe stacji Automatyki.

Wszystkie moduły systemu MASTER mają formę pakietu wg standardu dużej Eurokarty o wysokości 6U i szerokości 4T umieszczane w standardowych kasetach 19".

Moduł procesora stacji EMC-5 składa się z dwóch części : jednostki centralnej zrealizowanej w oparciu o procesor 80C188 i dołączonej do niej karty sieciowej dla sieci Ethernet. Posiada on oprócz bezpośredniego interfejsu do sieci Ethernet także interfejs szeregowy (RS485 lub RS232), interfejs AUI (dla np. podłączenia zewnętrznego konwertera sieciowego, wykorzystującego np. światłowód), interfejs równoległy dla połączenia z rezerwującym procesorem EMC-5. Istotnym ze względów diagnostycznych jest wyświetlacz umieszczony na płycie czołowej modułu, który pokazuje oprócz numeru stacji, aktualnego trybu pracy (procesor wiodący, rezerwa) także wyniki testów poprawności pracy interfejsów i jednostki centralnej. Dodatkowo zestaw przełączników pozwala zadeklarować początkowe tryby pracy procesorów. Jak już wspomniano, moduły EMC-5 mogą być swobodnie wymieniane bez wprowadzania jakichkolwiek zakłóceń w pracy stacji automatyki. Stosownie do potrzeb programowych może on być wyposażony w pamięci RAM i EPROM do 256 kB co wielokrotnie przekracza rzeczywiste potrzeby.

Moduł procesora ogniwa EMC-2 skonstruowany został w oparciu o procesor 80C188 posiada możliwości programowe, które pozwalają na swobodną realizację najbardziej rozbudowanych struktur układów regulacji i sterowań nie wykorzystując nawet w połowie zarezerwowanych obszarów pamięci. Posiada on dodatkowe interfejsy RS-485, RS-232 oraz wejście i wyjście dla światłowodu.

. Poniżej wymieniono tylko kilka najczęściej stosowanych :

moduł wejść analogowych EMA-2 - 8 kanałów o zakresach wejściowych 0-25 mA (przetwarzanie 12 bitowe). Wybór zakresu roboczego danego kanału odbywa się programowo z poziomu programu użytkowego ogniwa. **Pełna separacja galwaniczna obiektu od systemu a także między kanałami.** Programowa kompensacja błędów przetwarzania .

moduł wejść/wyjść dwustanowych EMX-2A - 16 wejść i 16 wyjść dwustanowych. Separacja wejść i wyjść od systemu. Dodatkowa separacja **wyjść między sobą** w grupach co dwa wyjścia. Napięcie podawane na styki obiektowe 48 V

moduły sterowań regulacyjnych trójstawnych i ciągłych EMB-2A, EMB-1A - specjalizowane moduły dla sterowań regulacyjnych. Każdy moduł posiada dwa tory sterujące oraz wejścia dwustanowe umożliwiające wprowadzenie do systemu zestawu sygnałów informacyjnych związanych z danym sterowaniem.

moduł wejść dwustanowych EMX-3 - specjalizowany moduł dla potrzeb realizacji zabezpieczeń. Zapewnia kontrolę ciągłości linii i umożliwia testowanie z poziomu programu poprawności działania toru wejściowego samego modułu.

### 2.1.2 Funkcje Stacji Automatyki

Funkcje stacji automatyki wynikają bezpośrednio z oprogramowania użytkowego w poszczególnych ogniwach. W każdym ogniwie mogą być realizowane algorytmy układów **sterowań, regulacji, zabezpieczeń, obliczeń** na sygnałach pomiarowych, obsługi zdarzeń itd. Niezwykle wygodne jest tworzenie programu w języku Regin autorstwa IASE przy korzystaniu z opracowanego w CNPAE edytora graficznego DRAWREGE. Edytując program korzysta się z bogatej biblioteki procedur i makroprocedur dedykowanych dla regulacji, sterowań i zabezpieczeń. W efekcie pracy otrzymujemy wolny od błędów kod programu oraz przejrzystą, kompletną dokumentację będącą graficzną prezentacją zrealizowanego algorytmu.

## 2.2 Stacja Operatorska

Stacja Operatorska (SO) systemu MASTER NT/FT składa się ze Stacji Przetwarzania (SP) i Stacji Graficznych (SG). Zastosowany sprzęt, to komputery standardu IBM-PC w wersji przemysłowej lub biurowej - zależnie od wymagań obiektu i Użytkownika. Stacja

Graficzna (SG) jest podstawowym urządzeniem przeznaczonym do kontaktu personelu operatorskiego z automatyzowanym procesem technologicznym. Liczba Stacji Graficznych zależy od stopnia złożoności procesu. Z reguły stosuje się dwa lub trzy komputery Stacji Graficznych. Każda Stacja Graficzna wyposażona jest w jeden do czterech monitorów o dużej rozdzielczości, manipulator funkcyjny (mysz), klawiaturę i opcjonalnie drukarkę raportową. Oprogramowanie systemowe SG oparte jest na systemie operacyjnym Windows NT 3.51. Cechuje się ono łatwością obsługi charakterystyczną dla środowiska Windows. Wszystkie funkcje SG są uruchamiane za pomocą manipulatora. Stacja Przetwarzania (SP) realizuje zadania związane z kierowaniem przepływem informacji w systemie oraz ich przetwarzaniem zgodnie z potrzebami sterowania zautomatyzowanym procesem technologicznym, a ponad to:

- sprawdzanie wiarygodności informacji i jej wartościowanie;
- obróbka sygnałów analogowych i binarnych;
- wykonywanie obliczeń techniczno - ekonomicznych;
- archiwizację danych;
- rejestrację zdarzeń;
- kolejkowanie zdarzeń w całym systemie;
- tworzenie raportów (dobowe, czasu pracy urządzeń, Post Mortem, rejestracja na żądanie itp.).

### **2.2.1 Graficzne środowisko operatora**

Stacje Graficzne MASTER FT/NT zbudowane są na bazie wielozadaniowego systemu operacyjnego Windows NT wyposażonego w funkcje czasu rzeczywistego. Dotychczasowy dialog człowiek - komputer zostaje rozbudowany o charakterystyczne funkcje środowiska graficznego Windows. Stosowany jest manipulator przemysłowy lub standardowy (mysz, trackball lub dżojstyk).

Ekran monitora Stacji Graficznej podzielony został na dwie podstawowe części - część roboczą prezentującą różnorodne obrazy technologiczne systemu oraz część organizacyjną „Nawigator”, służącą do poruszania się po zasobach informacyjnych systemu i wydawania podstawowych poleceń dla systemu. Funkcje oferowane przez Nawigatora zapewniają szybkie sprawne dostarczanie operatorowi informacji zawartej w systemie oraz oddziaływanie na obiekt. Nawigator jest złożoną belką narzędziowo-informacyjną umiejscowioną na stałe w górnej części ekranu. Składa się z menu podstawowego

zorganizowanego w formie przycisków, paska narzędziowego podręcznych funkcji w postaci ikon oraz bieżącej daty i czasu astronomicznego. Łatwość interaktywnego dopasowania go przez operatora do aktualnych, indywidualnych potrzeb - taka jak konfigurowanie pulpitu w systemie Windows.

### 2.2.2 Wizualizacja stanów i procesów obiektu

Wizualizacja jest podstawową funkcją realizowaną przez Stację Graficzną. System umożliwia wyświetlanie na ekranach praktycznie nieograniczonej liczby różnorodnych obrazów. Podstawowe formy prezentacji informacji na ekranie to:

- schematy technologiczne,
- obrazy przeglądowe,
- przebiegi czasowe sygnałów analogowych,
- nakładane obrazy okienkowe,
- charakterystyki,
- bargrafy sygnałów analogowych dla wartości chwilowych,
- obraz sekwencji zdarzeń,
- obrazy raportów (oglądane pod notatnikiem lub arkuszem kalkulacyjnym EXCELL),
- obrazy diagnostyczne,
- obrazy alarmów,
- obrazy układów (UARY, sekwencje sterownicze, grupy funkcyjne sterowania),

Rozdzielczość monitorów w systemie jest ustawiana do 1280\*1024 pikseli i 65535 kolorów. Pozwala to na swobodne budowanie obrazów technologicznych odwzorowujących stan kontrolowanego procesu. Podstawą obrazów typu schemat są obrazy graficzne zapisane w standardzie graficznych plików Windows typu WMF (windows metafile). Do stworzenia obrazu schemat może być użyty dowolny edytor graficzny środowiska Windows pozwalający na zapis obrazu w formacie WMF.

### 2.2.3 Schemat technologiczny

Schemat technologiczny prezentowany na monitorach systemu zbudowany jest z części statycznej przedstawiającej w sposób symboliczny proces technologiczny i części





## 2.4 Magistrala systemowa i lokalna magistrala danych.

Stacje automatyki mogą być rozproszone w terenie zgodnie ze standardem Ethernet 10Base2. Dla większych odległości stosowane są regeneratory sygnałów lub transmisja światłowodowa.

Odporność na błędy transmisji. Stosowana w systemie magistrala MasterNet jest pod względem elektrycznym i organizacji przesyłania danych standardem sieci Ethernet. Dla zapewnienia dobrych parametrów zmieniony został tylko protokół transmisji w celu zapewnienia dokładnej synchronizacji elementów systemu. Sprzęg z magistralą realizowany jest za pomocą standardowych sterowników sieci Ethernet, w których odbywa się proces kodowania i dekodowania przekazywanych informacji w sposób gwarantujący poprawność transmisji. Zgodnie z normami międzynarodowymi dla sieci komputerowych wykorzystuje się do tego celu kody CRC (Cyclic Redundancy Check), które jak wynika z analizy matematycznej są wyjątkowo efektywne dla wykrywania błędów pojedynczych, wielokrotnych, a co najważniejsze seryjnych. Kodowanie polega na dołączeniu do każdej ramki dodatkowego 32-bitowego tzw. wielomianu generacyjnego. Stwierdzenie błędu po zdekodowaniu uruchamia procedurę ponownej transmisji ramki danych. Ilości występujących retransmisji są rejestrowane w systemie i stanowią ważny element diagnostyki pracy magistrali sieciowej. Pozwalają stwierdzić ewentualne pogorszenie warunków transmisji danych spowodowanych różnymi przyczynami. Prawdopodobieństwo niezauważenia błędu w ramce dla kodu CRC dla ramek występujących w sieci MasterNet wynosi około  $P=1,5 \cdot 10^{-12}$ .

Według posiadanych przez nas danych w sieciach komputerowych o szybkościach rzędu 10 Mbitów i więcej na sekundę (gdzie dominują błędy seryjne) stosowanie kodów korekcyjnych jest mniej efektywne.

Sygnały z innych systemów mogą być doprowadzane poprzez lokalne magistrale danych MasterBus będące łączami szeregowymi RS-485 lub światłowodami. Wybór sposobu transmisji będzie zależał od odległości i warunków obiektowych (zakłócenia).

## 2.5 Znakowanie czasem, synchronizacja

Synchronizację uzyskuje się czasem zegara atomowego DCF77 odbieranym drogą radiową. Wszystkie sygnały dwustanowe zadeklarowane jako globalne, zarówno wejścia sprzętowe do systemu jak i wyniki realizacji algorytmów są znakowane czasem z dokładnością 10 ms. Synchronizacja obejmuje wszystkie stacje i sterowniki

Procesory stacyjne EMC-5 pełnią funkcje synchronizacji czasowej wysyłając impulsy korygujące pracę liczników czasu w poszczególnych ogniwach. Należy podkreślić, że nadawanie znacznika czasu z dokładnością do 10 msec dla wszystkich sygnałów typu zdarzenie odbywa się w miejscu pojawienia się sygnału tzn. w ogniwie. System MASTER-FT/NT gwarantuje faktyczną rozdzielczość czasową nie gorszą niż 10 msec między dowolnymi sygnałami dwustanowymi w całym systemie. Jest to warunek dla prawidłowego kolejkowania zdarzeń prezentowanych w Stacjach Operatorskich.

## 2.6 Funkcje diagnostyczne

Funkcje diagnostyczne Stacji Automatyki można podzielić na trzy grupy:

- związane ze stanem obiektu -generowane przez ogniwo w oparciu o sygnały na wejściach sprzętowych modułów.
- związane ze stanem pracy samego procesora ogniwa EMC-2 (załączone, wyłączone, brak źródła realizowanego programu, rodzaje i liczba sygnałów okiennych, ilość odebranych sygnałów synchronizujących, stan gotowości do przyjęcia lub wysłania danych itd.)
- związane z pracą procesorów stacyjnych EMC-5 (procesor wiodący, procesor rezerwowany, sprawność łącza równoległego między procesorami, sprawność karty sieciowej Ethernet itd.)

Wszystkie dane diagnostyczne są przekazywane do Stacji Operatorskich.

## 3. PROGRAMY NARZĘDZIOWE I EDYTORY

W ramach systemu automatyki MASTER - FT/NT powstało i jest nadal rozwijanych wiele programów narzędziowych. Wszystkie są aplikacjami działającymi w środowisku WINDOWS współpracującymi z innymi programami tego środowiska . Są to :

- edytory konfiguracyjne
- programy wspomagające uruchomienie systemu
- specjalizowane oprogramowanie serwisowo-diagnostyczne

### 3.1 Edytory konfiguracyjne

Podstawowym programem narzędziowym do tworzenia oprogramowania sterowników ogniw w stacjach automatyki jest edytor graficzny **DRAWREGE**. Efektem pracy w tym edytorze jest, oprócz kodu binarnego (który może być bezpośrednio przesłany do sterownika), także czytelna dokumentacja programowa. Stosując wydruk kolorowy łatwo można np. odróżnić sygnały analogowe od dwustanowych. Wprowadzanie zmian w oprogramowaniu sterowników zarówno w zakresie nastaw jak i algorytmów jest w pełni bezpieczne w trybie on-line. W czasie restartu sterownika, a także jego wymiany blokowane są wszystkie wyjścia z modułów sterujących. Dotyczy to także ciągłych wyjść sterujących 4-20 mA, które zapamiętują ostatnią wartość.

Aplikacja edytora sygnałów pierwotnych **EdWin** zrealizowana została w oparciu o system relacyjnych baz danych MS Access 2.0. Podstawowe funkcje edytora związane są z przygotowaniem bazy informacyjnej o sygnałach analogowych i binarnych dla systemu czasu rzeczywistego Master FT/NT. Dane edytowane są z wykorzystaniem specjalizowanych formatów edycyjnych przystosowanych do typów edytowanego sygnału. Przeglądanie możliwe jest w formie zestawień tabelarycznych lub pojedynczych okienek sygnałów.

Wstępne katalogi sygnałów opracowywane są automatycznie w oparciu o informacje przekazywane z Edytora graficznego Stacji i Ogniwa systemu MASTER DrawREGE 3.0.

**Edytorek** stanowi podstawowe narzędzie konfiguratora do opracowania form wizualizacji danych w systemie Master FT/NT. Pozwala na swobodne budowanie obrazów. Obrazy technologiczne prezentowane na monitorach systemu czasu rzeczywistego zbudowane są z dwóch części :

- statycznej, przedstawiającej w sposób symboliczny obraz procesu technologicznego
- dynamicznej - prezentującej żyjące w systemie dane.

Podstawą części statycznej są obrazy graficznie zapisane w standardzie plików graficznych Windows typu \*.emf,\*.wmf (windows metafile). Do przygotowania takiego obrazu może być użyty dowolny edytor graficzny środowiska Windows pozwalający na zapis obrazu w wyżej wymienionym standardzie.

Praca z edytorem realizowana jest w formie intuicyjnego dialogu projektanta z wykorzystaniem techniki *przeciagnij i upuść*. Dla każdego elementu przygotowane są okna dialogowe pozwalające na przypisanie do elementu wybranych własności. Podczas pracy

projektant ma dostęp do bazy danych sygnałów przygotowanych przez edytor sygnałów EDWIN.

### 3.2 Oprogramowanie wspomagające uruchomienie systemu

W skład grupy oprogramowania służącego celom uruchomieniowym systemu Stacji Automatyki i Stacji Operatorskiej wchodzi następujące programy: ViewREGE, PreViewREGE, Sym-SA, Rej-SA. Każdy z tych programów w charakterystyczny dla siebie sposób umożliwia dostęp do danych przetwarzanych w pracującym systemie.

**ViewREGE** jest pakiet oprogramowania przeznaczonym do komunikacji pomiędzy modułem procesora EMC1 lub EMC2 systemu MASTER - FT/NT z komputerem PC. Jest to prosty podgląd tego, co dzieje się w ogniwach systemu automatyki MASTER FT/NT.

Program przeglądowy **PreViewREGE** pozwoli odtworzyć historię i przeanalizować zarejestrowane zmiany sygnałów z dokładnością do 1 sekundy, a także wydrukować wykresy na dowolnej drukarce.