

*mgr inż. Jacek Reiner,  
mgr inż. Mariusz Mrzyglód,  
mgr inż. Piotr Trzciniński,  
dr inż. Zbigniew Smalec,  
Politechnika Wroclawska, Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji*

## **Przemysłowa sieć komunikacyjna PROFIBUS-DP - wczoraj i jutro**

*Rosnące wymagania kompleksowych systemów automatyki stają się przyczyną stosowania nowych architektur systemów, sieci komunikacyjnych oraz urządzeń obiektowych. Szczególnie dynamicznie rozwijają się sieci Fieldbus, pozwalające na implementację rozproszonych systemów sterowania oraz coraz inteligentniejszych urządzeń obiektowych. Artykuł przedstawia główne cechy standardu PROFIBUS-DP oraz wprowadzone rozszerzenia VI.*

### **Industrial communication Fieldbus PROFIBUS-DP - yesterday and tomorrow**

*Growing up requirements of complex automation systems cause the using of new systems architecture, industrial communications and field devices. Especial dynamically are developing fieldbus networks, which enable the implementation of distributed control systems and intelligent field devices. This paper presents main features of the PROFIBUS-DP standard and the newest extension VI.*

#### **1. Wstęp**

Sieć miejscowa PROFIBUS – DP stanowi rozszerzenie standardu PROFIBUS-FMS dla zadań krytycznych czasowo na poziomie rozproszonych wejść i wyjść. Zastępuje ona praktycznie, magistralę systemową sterownika swobodnie programowalnego PLC, pozwalając na umieszczenie modułów peryferyjnych jednostki CPU bezpośrednio przy czujnikach i elementach wykonawczych. Dla zdecentralizowanych modułów wejść i wyjść (ang. *remote I/O*) podstawą wymiany danych jest cykliczna funkcja **Data\_Exchange**.

Rosnące wymagania kompleksowych urządzeń obiektowych, dla których niewystarczająca jest czysta cykliczna wymiana danych, np. dla urządzeń wymagających parametryzacji podczas normalnej pracy (falowniki, regulatory i urządzenia pomiarowe) lub urządzeń sporadycznie wymieniających dane (zawory), stanowią przyczynę rozszerzenia standardu PROFIBUS-DP. Rozszerzenie to zostało opublikowane w zaleceniach technicznych PNO nr 2.081. i definiuje ono nowe acykliczne funkcje dostępu do węzłów sieci.

**PROFIBUS-DP** zastępuje wiązki równoległych przewodów między sterownikiem a urządzeniami peryferyjnymi na obiekcie, co może obniżyć koszty komunikacji. uwzględniające okablowanie, inżynierię i utrzymanie, nawet o 40%.

W sieci PROFIBUS - DP wyróżniamy trzy rodzaje urządzeń: **DPM1** (DP-Master Klasy1), **DPM2** (DP-Master Klasy 2) oraz **DPS** (DP-Slave):

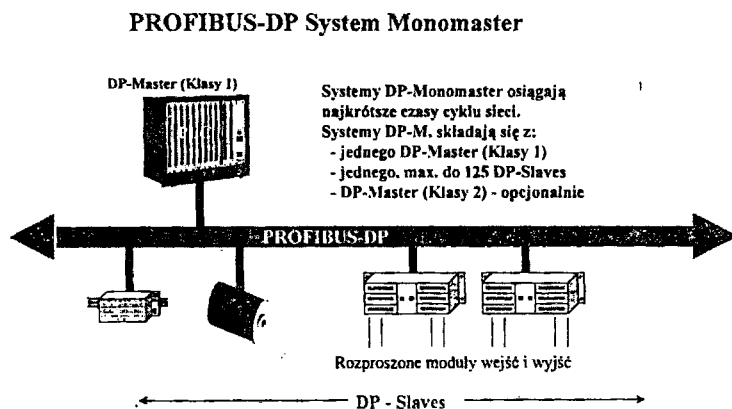
**DPM1**- to węzeł nadrzędny, pełniący rolę sterownika centralnego, który w ściśle określonym cyklu komunikacyjnym wymienia informacje ze swoimi zdecentralizowanymi modułami peryferyjnymi *Slave-DP*. Typowymi przedstawicielami DPM1 są sterowniki swobodnie programowalne PLC, komputery PC lub VME.

**DPM2** - to programatory, konfiguratorzy, przyrządy diagnostyczne czy urządzenia operatorskie. Są one wykorzystywane podczas uruchamiania instalacji oraz zadawania i kontroli pracy całego systemu.

**DP-Slave** - to pasywne węzły będące modułami peryferyjnych wejść i wyjść cyfrowych, wejść i wyjść analogowych, napędów, zaworów, paneli operatorskich itp.

## 2. PROFIBUS-DP system *mono-Master*

Podstawową architekturą pracy dla sieci PROFIBUS-DP jest konfiguracja *mono-Master*. Oznacza to, że jedna stacja nadrzędna, np. sterownik swobodnie programowalny PLC albo komputer PC/VME, jest połączony ze zdecentralizowanymi modułami wejść i wyjść. czujnikami lub elementami wykonawczymi.



Rys. 1. System *mono-Master* [4]

System *mono-Master* składa się z 1 do max. 125 urządzeń *Slave*, 1 *Mastera* klasy 1 (jest nim np. sterownik PLC lub PC) oraz opcjonalnie jednego *Mastera* Klasy 2 (urządzenie do konfiguracji i diagnozowania) (rys.1).

Systemy *mono-Master* zapewniają najkrótsze cykle systemu komunikacyjnego, gdyż nie zachodzi w nich konieczność przekazywania uprawnień kontroli, między urządzeniami *Master* ( tzw. *tokena*). Systemy takie są w stanie przesłać 1kByte danych wejściowych i wyjściowych w czasie krótszym niż 2ms.

## 3. PROFIBUS-DP system *multi-Master*

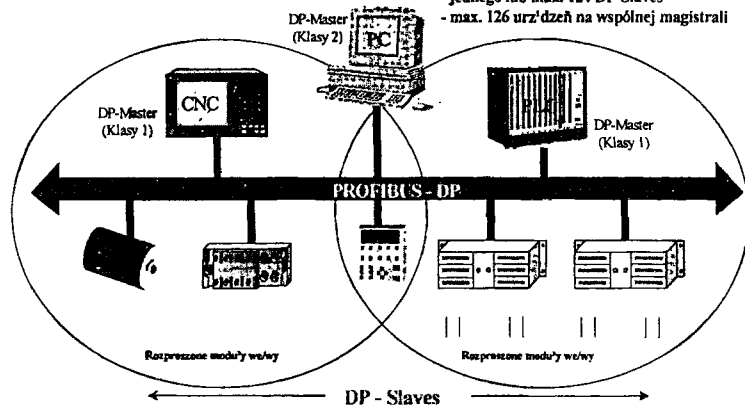
PROFIBUS-DP może być stosowany również w systemach z wieloma stacjami nadrzędnymi, tzw. *multiMaster*.

Architektura taka odpowiada rozproszonym systemom sterowników z wieloma jednostkami CPU. Typowy sterownik obrabiarki sterowanej numerycznie CNC (ang. *Computerized Numerical Control*) współpracuje ze sterownikiem PLC (np. magazynu narzędzi lub urządzeń transportowych) oraz modułem HMI (ang. *Human Machine Interface*) - obecnie najczęściej komputer PC.

Wiele urządzeń DP-Master może odczytywać dane urządzeń DP Slaves

System PROFIBUS-DP Multi-Master składa się z:

- wielu Masterów (Klasy 1 lub 2)
- jednego lub max. 124 DP-Slaves
- max. 126 urządzeń na wspólnej magistrali



Rys.2 System *multi-Master* [4]

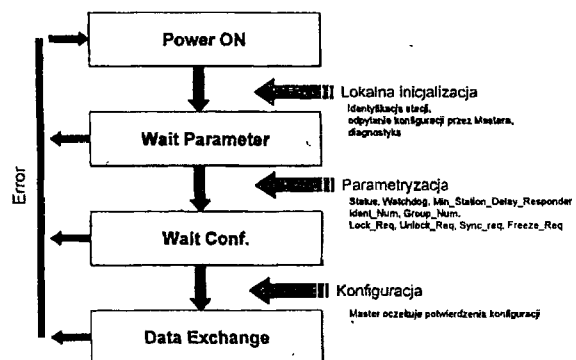
Na rys.2 zostały przedstawione dwie nadrzędne stacje *Master* DP-klasy 1: sterownik PLC i CNC wraz z podległymi stacjami pasywnymi *Slave*. Zaletą PROFIBUS-DP jest możliwość dzielenia dostępu do danych poprzez odpytywanie wspólnych stacji *Slave*, możliwość zapisywania pozostaje jednak zastrzeżona tylko dla określonego *Master*'a.

*Master* DP-klasy 2 (komputer PC) pozwala na odczyt danych diagnostycznych oraz parametryzowanie wszystkich węzłów sieci.

#### 4. Działanie systemu

W przypadku sieci PROFIBUS-DP działanie węzła pasywnego *Slave* określone jest poprzez diagram stanów (rys.3).

Diagram stanów *Slave-DP* (uproszczony)



Rys.3 Diagram stanów *Slave DP*

Po włączeniu zasilania realizowana jest lokalna inicjalizacja, a następnie urządzenie *Slave* przechodzi do stanu oczekiwania na parametryzację (*Status*, *Watchdog*,

*Min\_Station\_Delay\_Time, Ident\_Number, Group\_Number, Lock\_Request, Unlock\_Request, Sync\_Request, Freeze\_Request*).

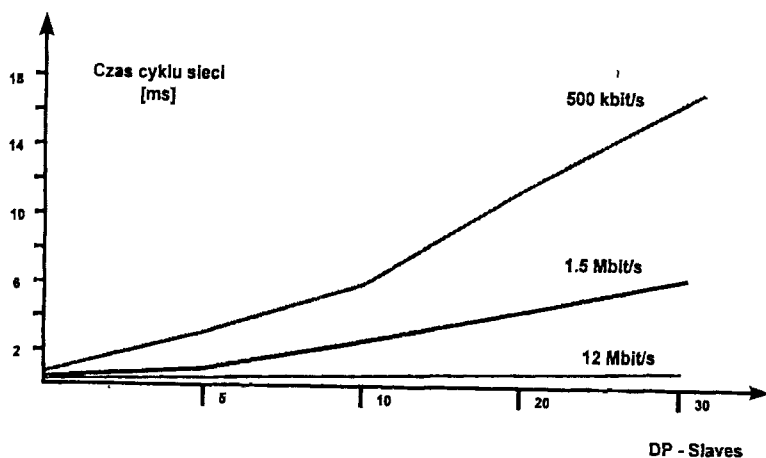
W kolejnym kroku przesyłane są informacje konfiguracyjne (liczba i typ modułów wejściowych i wyjściowych). Po otrzymaniu zgodnego potwierdzenia, między *Master*'em a *Slave* realizowana jest cykliczna wymiana danych *Data\_Exchange*.

Stan systemu zaś, jest określany poprzez stan urządzenia *Master* klasy 1, które może przyjmować następujące wartości:

- **STOP** - gdy nie zachodzi żaden transfer danych,
- **CLEAR** - gdy DPM1 odczytuje stany wejść urządzeń *Slave* i utrzymuje stany ich wyjść w stanie "bezpiecznym" (*fail-safe*),
- **OPERATE** - gdy zachodzi transmisja danych - *Master* cyklicznie komunikuje się z urządzeniami *Slave* (odczyt i/lub zapis).

## 5. Czas cyklu sieci

Przełomowym etapem dla rozwoju sieci PROFIBUS-DP okazało się zwiększenie maksymalnej prędkości transmisji z 1,5Mbit/s do 12 Mbit/s.



Rys.4 Czas cyklu magistrali PROFIBUS-DP [4]

Dla przykładu, w systemie sterowania składającym się z 30 DP *Slave*, mających 2Byte informacji wejściowej (łącznie 480 wejść binarnych) i 2 Byte informacji wyjściowej (łącznie 480 wyjść binarnych) jest możliwe uzyskanie czasu cyklu sieci na poziomie 1ms (rys.4). Typowy czas cyklu sterowników PLC wynosi ok. 10ms, co pozwala na stosowanie rozproszonych modułów wejść i wyjść sieci PROFIBUS-DP w aplikacjach o dużych wymaganiach czasowych.

## 6. Mechanizmy ochrony w stacjach DP *Master*

*Master* DPM1 monitoruje transmisje danych ze *Slave*'m za pomocą zegara *Data\_Control\_Timer*. Dla każdego *Slave*'a jest używany oddzielny *timer*, którego czas upływa gdy w czasie interwału nie dojdzie do poprawnej transmisji danych. Użytkownik jest informowany o wystąpieniu błędu, a gdy włączona jest automatyczna reakcja na błędy (*Auto\_Clear=true*), to DPM1 przechodzi ze stanu *OPERATE* w stan *CLEAR* i przetacza wyjścia wszystkich dotychczasowych *Slave*'ów w stan bezpieczny *fail safe*.

## 7. Mechanizmy ochrony w stacjach DP *Slave*

Do wykrycia uszkodzenia *Master*'a lub linii transmisyjnej, urządzenia *Slave* wykorzystują technologię *watchdog*. Jeśli w czasie zdefiniowanego interwału czasowego nie zostaną odebrane dane od *Master*'a, to *Slave* automatycznie przełącza swoje wyjścia w stan bezpieczny *fail-safe*.

## 8. Synchronizacja wejść i wyjść

*Master* ma możliwość wysyłania komend sterujących do pojedynczego *Slave*'a, grupy *Slave*'ów lub wszystkich *Slave*'ów jednocześnie. Komendy sterujące są przesyłane jako komendy grupowe (ang. *Multicast*) lub nagłośnieniowe (ang. *Broadcast*). W ten sposób realizowana jest synchronizacja wyjść i wejść modułów rozproszonych dla procesów sterowanych zdarzeniowo. Komenda *sync* powoduje synchroniczne ustawienie wyjść modułów. W celu zatrzaśnięcia stanów wejściowych wysyłana jest przez *Master*'a komenda *freeze*. *Slave*'y zaczynają pracę w trybie synchronizacji wówczas, gdy odbiorą komendę *sync* od swojego *Master*'a. Wtedy wyjścia wszystkich adresowanych modułów są zatrzaśkiwane w bieżącym stanie. Następnie są wysyłane dane dla wyjść dla każdego ze *Slave*'ów, przy czym stany wyjść nie są uaktualniane do momentu odebrania następnej komendy *sync*. Tryb synchronizacji jest przerywany za pomocą komendy *unsync*. Podobnie komenda *freeze* wprowadza zaadresowane *Slave*'a w tryb zamrożenia bieżących wartości wejść. Zmiana stanów wejść nie jest „zauważana” dopóki *Master* nie wyśle następnej komendy *freeze*. W czasie między kolejnymi komendami *freeze* *Master* zbiera zatrzaśnięte informacje o stanie wejść modułów. Tryb *freeze* jest przerywany za pomocą komendy *unfreeze*.

## 9. Profile

Protokół PROFIBUS-DP definiuje sposób przesyłania danych pomiędzy stacjami. Zadaniem profili jest definiowanie w jaki sposób standard ten ma być używany od strony aplikacyjnej, czyli pod jakimi adresami zdefiniowane są konkretne zmienne (definicja i typ).

Np.: profil dla sterowników NC/RC definiuje stany pracy i typy urządzeń, sygnały sterujące i statusowe, fazy pracy i diagramy czasowe.

Aktualnie zdefiniowane są cztery profile:

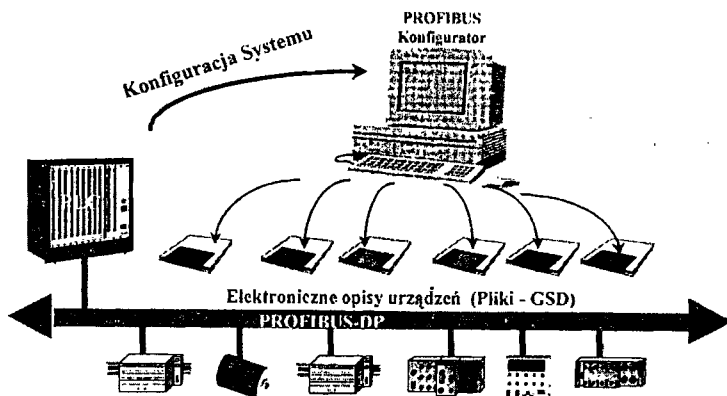
- **profil dla NC/RC (3.052)** - opisuje sposób sterowania przez PROFIBUS-DP manipulatorów oraz robotów montażowych,
- **profil dla przetworników (3.062)** - opisuje połączenie PROFIBUS-DP z przetwornikiem obrotowo - impulsowym, kątowym oraz liniowym,
- **profil dla napędów (3.071)** - opisuje sposób parametryzowania urządzeń napędowych, a zawiera także informacje dla sterowania prędkością oraz pozycjonowaniem
- **profil dla paneli operatorskich (HMI)** - opisuje dołączenie urządzeń typu HMI (ang. *Human Machine Interface*) do PROFIBUS-DP. Profil ten uwzględnia również funkcje PROFIBUS-DP rozszerzonego.

## 10. Konfiguracja systemu

PROFIBUS-DP definiuje nie tylko komunikację między urządzeniami, ale specyfikuje on również otwartą i niezależną od producenta konfigurację węzłów sieci.

Narzędzia konfiguracyjne - oprogramowanie, używają elektronicznych opisów urządzeń. Opisy te utworzone są w postaci tekstowych plików ASCII bazy danych urządzenia i są oznaczane jako \*.GSD.

## Otwarte projektowanie umożliwia „Plug and Play”



Rys.5 Konfiguracja sieci PROFIBUS-DP [4]

Producent modułów PROFIBUS-DP jest zobligowany do opisu parametrów swego urządzenia w formacie pliku GSD, który jest szczegółowo zdefiniowany przez standard. Oprogramowanie PC konfiguratora sieci odczytuje dane zawarte w plikach i przetwarza je na odpowiednią konfigurację stacji nadrzędnej. Zaletą tego jest bardzo łatwa konfiguracja sieci i niezależność od producenta, co obniża koszty inżynierskie. Rozwiązanie takie określane jest w świecie komputerów PC i systemu Windows jako „Plug and Play” (rys.5).

Praktycznie, większość nowych węzłów PROFIBUS-DP automatycznie rozpoznaje szybkość transmisji, natomiast konfiguracja *Master*'a za pomocą oprogramowania w środowisku Windows, gdy dysponujemy plikami GSD jest bardzo łatwa.

### 11. Funkcje dodatkowe standardu PROFIBUS DP

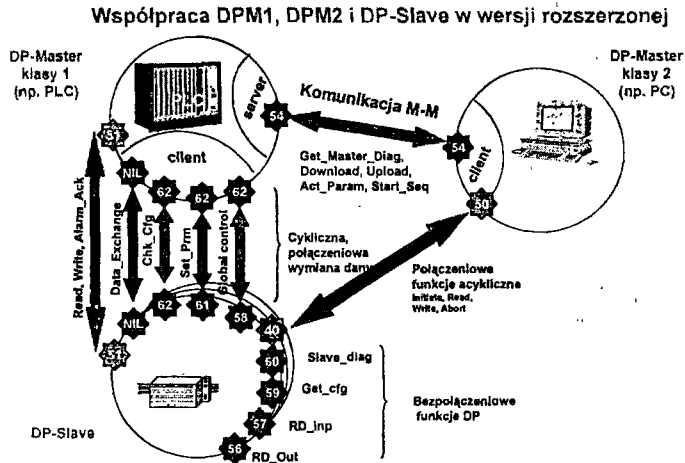
Funkcje dodatkowe standardu DP pozwalają na acykliczną wymianę danych oraz potwierdzanie alarmów sygnalizowanych przez *Slave*. Nowe funkcje mogą być wykorzystane podczas parametryzacji i konfiguracji wybranych zmiennych, przez stacje diagnostyczne i stacje operatorskie (DPM2). Typowym przykładem ich zastosowania jest parametryzacja falownika. Funkcje dodatkowe posiadają niższy priorytet jak cykliczna wymiana danych. Zwrócono również uwagę na ich opcjonalną implementację oraz kompatybilność z funkcjami standardowymi.

### 12. Rozszerzona komunikacja między DPM1 a stacjami *Slave* DP

Dla PROFIBUS-DP zdefiniowano przyporządkowanie między usługami komunikacyjnymi a numerami portów komunikacyjnych warstwy drugiej SAP (*Service Access Point*). W przeciwieństwie do PROFIBUS-FMS, gdzie porty definiują relacje komunikacyjne, przyporządkowanie takie wprowadziło zmniejszą elastyczność konfigurowania, ale za to radykalnie upraszcza przebieg konfiguracji.

Dodatkowe acykliczne funkcje komunikacyjne pomiędzy *Master*'em DP klasy I a *Slave*'em DP są wykonywane przez port komunikacyjny o numerze 51, a połączenie takie ma oznaczenie MSAC\_C1. Połączenie to jest zarezerwowane jedynie dla cyklicznej wymiany danych między *Master*'em DPM1 a *Slave*'em DP. Po prawidłowym nawiązaniu połączenia węzeł DPM1 może dokonywać równolegle cyklicznej wymiany danych poprzez połączenie

MSCY\_C1 oraz realizować acykliczny transfer poprzez połączenie MSAC\_C1 (zdefiniowane jako port komunikacyjny NILL).



Rys.6 Kanały komunikacyjne węzłów PROFIBUS-DP [3]

### 13. Acykliczny odczyt i zapis

Funkcje acyklicznego odczytu **DDLm\_read** i acyklicznego zapisu **DDLm\_write** mogą być użyte dla operacji na dowolnych blokach danych (funkcje cykliczne wprowadzają ograniczenie długości telegramu do 256 bajtów). Do ich realizacji stosuje się usługę SRD warstwy 2(FDL). Przy adresowaniu bloków danych zakłada się że *Slave* ma budowę modułową lub też może być podzielony wewnętrznie na logiczne bloki funkcyjne. Model ten jest także używany w podstawowych funkcjach PROFIBUS-DP dla cyklicznej wymiany informacji, gdzie każdy moduł ma stałą liczbę wejść i / lub wyjść, których stany są transmitowane na ustalonej pozycji telegramu. Adresowanie bazuje na identyfikatorach (np. które określają liczbę i typ wejść / wyjść oraz typ danych itp.). Identyfikatory *Slave*'ów ustawiane w czasie konfiguracji są sprawdzane przez DPM1 w fazie startowej sieci (rys. 6) Model taki używany jest także jako podstawowy dla nowych usług acyklicznych. Wszystkie bloki danych dostępnych do czytania lub pisania są skojarzone z modułami urządzenia *Slave*. Bloki mogą być adresowane poprzez numer slotu (moduł adresujący) oraz index (adresujący blok danych modułu). Każdy z bloków danych może mieć długość do 256 bajtów.

Urządzenia o budowie jednomodułowej są traktowane jako jedna jednostka z wirtualnymi modułami. Jest tutaj również używane adresowanie przez numer slotu i index. Przy żądaniu odczytu lub zapisu zostaje wyspecyfikowana długość bloku danych. Jeśli dostęp do bloku danych jest poprawny, to urządzenie *Slave* wysyła pozytywne potwierdzenie. Jeśli dostęp nie jest pomyślny, to urządzenie wysyła negatywne potwierdzenie, w którym jest wyspecyfikowany rodzaj problemu.

### 14. Potwierdzanie alarmów

Podstawowe funkcje PROFIBUS-DP pozwalają *Slave*'owi na spontaniczne wysyłanie alarmów do *Master*'a wraz z danymi diagnostycznymi. Gdy dane diagnostyczne zmieniają się bardzo szybko, to potrzebne jest dostosowanie częstotliwości ich transmisji i szybkości sterownika PLC. Nowa funkcja **DDLm\_Alarm\_Ack** potwierdzenia odebrania alarmu przez *Mastera*, pozwala na sterowanie przepływem informacji dodatkowych od *Slave*'a.

## 15. Rozszerzona komunikacja między DPM2 a stacjami *Slave DP*

Rozszerzenie PROFIBUS-DP pozwala jednej lub kilku stacjom diagnostycznym albo operatorskim na acykliczne czytanie lub zapisywanie dowolnego bloku danych do stacji *Slave*. Komunikacja jest zorientowana połączeniowo i jest określana jako *MSAC\_C2*. Po poprawnym zainicjowaniu połączenia przesyłanie danych realizowane jest za pomocą usług *DDLm\_read* i *DDLm\_write*. Pomiędzy wysyłanymi danymi mogą występować dowolnej długości przerwy, a jeśli zachodzi taka potrzeba, to *Master* automatycznie wystawia telegram kontrolny (*Idle\_PDUs*) w czasie trwania transmisji. Połączenie *MSAC\_C2* jest również kontrolowane czasowo a jego parametryzacja następuje za pomocą usługi *DDLm\_Initiate*, podczas nawiązywania połączenia. Jeśli w czasie monitorowania połączenia wykryty zostanie błąd, to połączenie jest automatycznie przerywane zarówno ze strony *Master'a* jak i *Slave'a*. Połączenie takie może być nawiązane ponownie lub zostać użyte przez inną stację. Dla połączenia *MSAC\_C2* zarezerwowane są od strony *Slave'a* porty od 40 do 48, a od strony *Master'a* port 50.

### Zakończenie

Sieć miejscowa PROFIBUS jest aktualnie jednym z najbardziej rozpowszechnionych standardów sieci *Fieldbus*. Dzięki trzem jej odmianom FMS, DP i PA obszar jej zastosowań dla automatyki jest bardzo rozległy (inteligentne budynki, automatyzacja wytwarzania i sterowanie procesami ciągłymi). Szybka sieć PROFIBUS-DP, znajduje szczególnie zastosowanie do implementacji rozproszonych architektur sterowania jak również coraz większego wykorzystania komputerów personalnych PC dla automatyki (tzw. SlotControl i SoftControl). Rozszerzenie V1, standardu DP, zostało wywołane rosnącymi wymaganiami coraz „inteligentniejszych” urządzeń obiektowych. Istotną cechą rozszerzenia jest jego opcjonalność oraz zgodność z poprzednią wersją PROFIBUS-DP.

Analiza rozwoju sieci *Fieldbus* pozwala oczekiwać dalszego rozwoju standardu o nowe bardziej zaawansowane funkcje komunikacyjne.

### PODZIĘKOWANIA

Prace prowadzone w ITMiA PWR, z zastosowaniem sieci *Fieldbus* dla wytwarzania są finansowane przez Unię Europejską w ramach programu INCO/Copernicus jako międzynarodowy projekt pt.: „*Transferring European Fieldbus Technology to Countries of Central Europe*” - TRAFICC [5].

### LITERATURA

1. Koch J., Smalec Z., Reiner J., Mrzygłód M., Trzciniński P.: *Distributed control system for manufacturing cell – demonstrator description*, Proceeding on International Symposium on Fieldbus Systems and Application Technics, Feb. 1998, Budapest Hungary (w oczekiwaniu do druku)
2. Mrzygłód M., Reiner J., Smalec Z., Trzciniński P.: *Zagadnienia komunikacji w sieci PROFIBUS na przykładzie wybranych rozwiązań sprzętowych i programowych*, Pomiar, Automatyka, Robotyka, 5/6, PIAP, 1997
3. Jünger B., *Profibus-DP erschließt sich neue Einsatzbereiche*, Elektronik 7/1997 S32-45
4. Profibus Nutzer Organisation, *PROFIBUS Technical description*, version April 1997
5. <http://www.itma.pwr.wroc.pl/trafic>