

## PRZEMYSŁOWA SIĘĆ LOKALNA PROFIBUS<sup>\*)</sup>

*W artykule przedstawiono sieć PROFIBUS - jedną z najbardziej rozpowszechnionych obecnie przemysłowych sieci lokalnych. Omówiono architekturę, protokoły, parametry techniczne oraz właściwości eksploatacyjne. Podano także informacje o genezie sieci, procesie jej rozwoju i standaryzacji. Dokonano próby oceny na podstawie prowadzonych w Instytucie analiz.*

### 1. WSTĘP

Od połowy 1995 roku PIAP, przy współudziale kilku instytutów Politechniki Warszawskiej i Wrocławskiej oraz PAN-u, realizuje Projekt Badawczy Zamawiany PBZ-31-05 „Sieciowe systemy komunikacyjne integrujące automatyzację wytwarzania”. Jednym z zadań Projektu jest dokonanie rozeznania, oceny, badań i wreszcie wyboru najkorzystniejszych rozwiązań sieci przemysłowych do stosowania w przedsiębiorstwach krajowych.

Realizując powyższe zadanie przeprowadzono rozeznanie i analizę kilkudziesięciu typów sieci stosowanych w sferze wytwarzania, zarówno standaryzowanych jak i firmowych. W niniejszym artykule dokonuje się prezentacji pierwszych rezultatów tej części Projektu w postaci omówienia i oceny sieci PROFIBUS.

Obiektowe urządzenia automatyki, takie jak czujniki, silowniki, zadajniki, napędy, sterowniki programowalne, w coraz większym stopniu są wyposażane w elementy mikroelektroniki cyfrowej. Do zapewnienia komunikacji między takimi cyfrowymi urządzeniami obiektowymi oraz urządzeniami wyższych szczebli systemów automatyki coraz szerzej wykorzystuje się szeregowe magistrale miejscowe (Fieldbus).

W drugiej połowie lat 80. istniała już znaczna liczba firmowych sieci miejscowych, najczęściej nie mogących jednak ze sobą współpracować. Stosowanie takich sieci często prowadziło do powstawania w zakładach przemysłowych wzajemnie izolowanych, niekompatybilnych rozwiązań, bądź też trwale uzależniało firmę od jednego dostawcy. Natomiast

<sup>\*)</sup> Praca finansowana w ramach Projektu Badawczego Zamawianego PBZ-31-05 „Sieciowe systemy komunikacyjne integrujące automatyzację wytwarzania”

istniejące wówczas rozwiązania otwarte, standaryzowane, były kosztowne i nie spełniały wielu wymagań użytkowych, związanych przede wszystkim z szybkością obsługi. Ponadto w kilku krajach podjęto opracowania nowych standardów magistral miejscowych.

Sytuacja taka zagrażała interesom niemieckiego przemysłu maszynowego, największego w świecie eksportera dóbr inwestycyjnych. W 1987 r. zrodziła się inicjatywa kilku firm (w tym Bosch, Klockner-Moellera i Siemens) opracowania magistrali miejscowej PROFIBUS jako doskonalszej, niemieckiej realizacji ogólnej idei magistrali Fieldbus. Wspólny projekt badawczy był w pierwszej fazie realizowany przez pięć instytutów i trzynaście firm przemysłowych, przy udziale dotacji państwowych, kierowanych poprzez Federalne Ministerstwo ds. Badań i Technologii. Dużą rolę odegrał Instytut Fraunhofera w Sztutgarcie i w Karlsruhe. Wśród wielu znanych firm uczestniczących w procesie tworzenia sieci warto wymienić, poza inicjatorami, także: AEG, BBC i Rheinmetall.

Rezultatem prac było ustanowienie w 1991 r. normy DIN 19245 na system PROFIBUS, złożonej z dwóch części, 1. i 2., uzupełnionej w 1993 r. o część trzecią. W wielu firmach podjęto szybkie wprowadzanie urządzeń i oprogramowań sieci PROFIBUS do asortymentu oferowanych środków automatyzacji. Proces ten obecnie trwa nadal, w wyniku czego powstają coraz nowe produkty sieciowe PROFIBUS. Trwa też rozszerzanie normalizacji. Obecnie PROFIBUS jest, obok FIP i P-NET, jednym z rozwiązań sieci miejscowej w końcowym projekcie normy europejskiej prEN 50710, która zostanie ustanowiona w bieżącym roku.

Magistrala PROFIBUS powstała jako odpowiedź na potrzeby przemysłu, już po uzyskaniu wielostronnych doświadczeń z sieciami standardów IEEE 802 i MAP. Na podstawie tych doświadczeń przy opracowywaniu sieci PROFIBUS starano się znacznie obniżyć koszty, przez zastosowanie najtańszych rozwiązań transmisyjnych - medium w postaci pary skręcanej i standardu sygnałów RS 485, a także przez uproszczenia ogólnej architektury i protokołu. Z drugiej jednak strony wykorzystano dobrze sprawdzone mechanizmy dotychczasowych przemysłowych sieci lokalnych: deterministyczny dostęp do medium i protokół MMS w warstwie aplikacyjnej. Dzięki temu przy aplikacjach w sferze wytwarzania w zakładach przemysłowych nie zachodzi potrzeba instalowania sieci lokalnej, nadrzędnej w stosunku do sieci PROFIBUS.

## 2. RODZINA SIECI PROFIBUS

Miejsce sieci PROFIBUS w automatyce przemysłowej i ogólny zakres zastosowań obrazuje rys. 1. Zastosowania są ukierunkowane na poziom bezpośredniego wytwarzania, a więc na gniazda i linie produkcyjne oraz na poziom najniższy - warstwę czujników i silowników. Poziomy wyższe (wydział i przedsiębiorstwo), począwszy od funkcji sterowania wytwarza-

niem, nie są w intencji twórców objęte tą siecią. Na rys. 1 zwraca się także uwagę na szybkość pracy, wyrażoną czasem cyklu, czyli przekazu wszystkich danych. PROFIBUS jest predestynowany do bardzo szybkiej obsługi obiektu, ponieważ umożliwia skrócenie czasu odczytu i wpisu wszystkich danych (czas cyklu) do wartości poniżej 10 ms. Obecnie w ramach standardu PROFIBUS istnieją trzy główne wersje tej sieci, ukierunkowane na różne zastosowania, co przedstawiono na rys. 2.

### **PROFIBUS-FMS**

Jest to rozwiązanie uniwersalne wprowadzane do wyrobów w pierwszej kolejności, przeznaczone do zadań komunikacyjnych na niższym poziomie (gniazd), również jako magistrala miejscowa. Realizuje funkcje acyklicznego i cyklicznego przekazu danych z umiarkowaną prędkością.

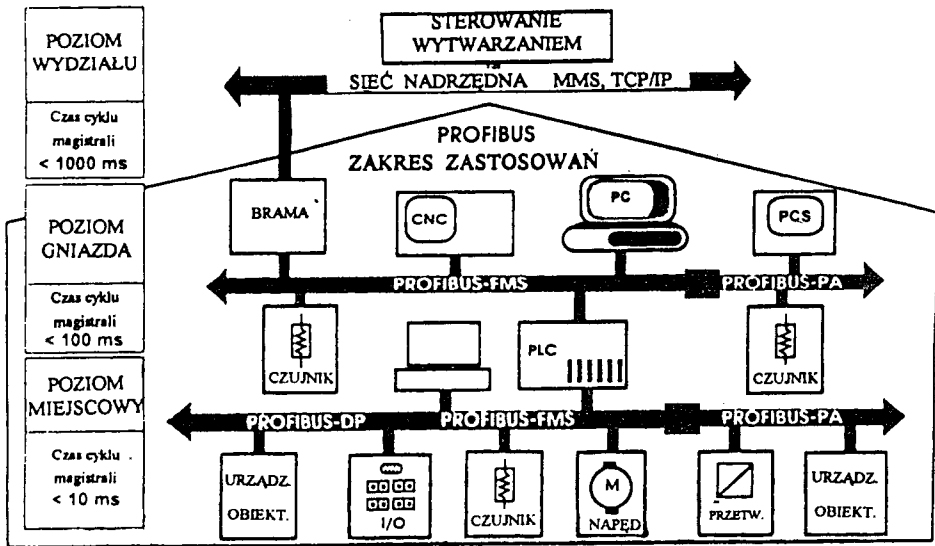
Usługi protokołu FMS (Fieldbus Message Specification) oferują bogatą funkcjonalność, jak też elastyczność konfigurowania. Wersja FMS jest objęta częściami 1 i 2 normy DIN 19245 oraz jest włączona do projektu EN 50170 europejskiej normy na magistralę miejscową.

### **PROFIBUS-DP**

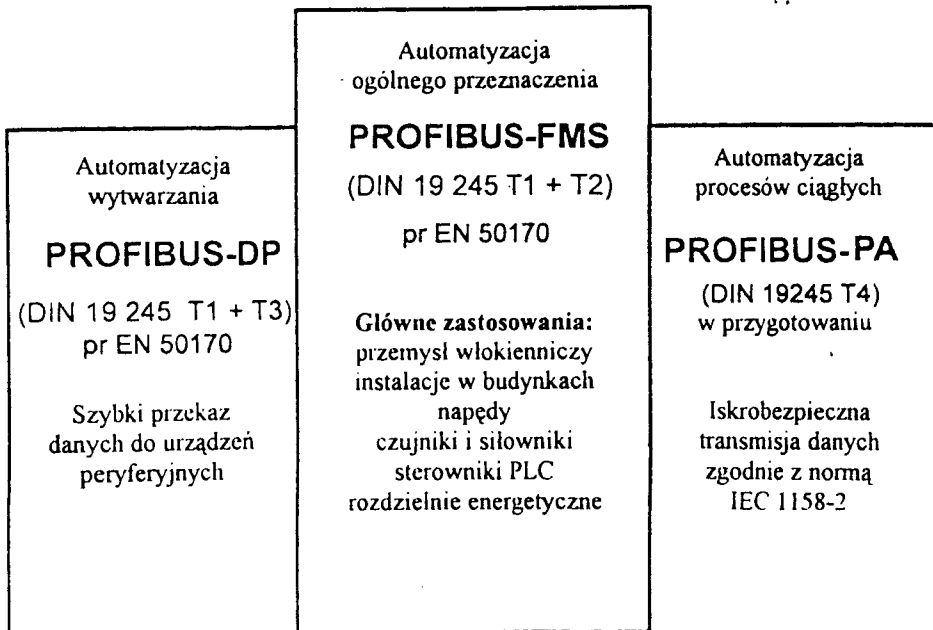
Jest to wersja o powiększonej efektywności, dedykowana do zastosowań czasowo-krytycznych w komunikacji między systemami automatyki a przestrzennie rozłożonymi inteligentnymi urządzeniami peryferyjnymi. Wersja DP eliminuje stosowanie sygnałów obiektowych, dwustanowych 24 V i analogowych 4...20 mA, jak też kosztownego okablowania obiektowego do prowadzenia tych sygnałów. Wersja jest objęta częściami 1 i 3 normy DIN 19245.

### **PROFIBUS-PA**

Wersja ta jest ukierunkowana na zastosowania w automatyzacji procesów produkcyjnych (wolnozmiennych). Stosuje technikę transmisji określoną w normie IEC 1158-2, przez co umożliwiają rozwiązania iskrobezpieczne i zasilanie stacji przez magistralę. PROFIBUS-PA wykorzystuje rezultaty uzyskane w projekcie ISP (Inter-Operable Systems Project).



Rys. 1. Obszary zastosowań sieci PROFIBUS



Rys. 2. Trzy wersje standardu PROFIBUS

### 3. ARCHITEKTURA PROTOKOŁU PROFIBUS

#### 3.1. Opis ogólny

Norma PROFIBUS określa techniczne i funkcjonalne charakterystyki szeregowej magistrali miejscowej, która łączy rozłożone przestrzennie cyfrowe urządzenia obiektowe, począwszy od najniższego poziomu (poziom czujników i silowników) do poziomu średniego - gniazd i linii produkcyjnych. Sieć zawiera stacje (urządzenia) typu master i slave.

Urządzenia master mogą sterować magistralą. Gdy stacja master otrzyma uprawnienie dostępu, to inicjuje nadawanie swoich przesyłek, bez żądania z innej stacji. W protokole PROFIBUS urządzenia master są nazywane stacjami aktywnymi.

Urządzenia slave są prostymi urządzeniami oddalonymi. Mogą to być czujniki, sterowniki, nadajniki. Nie mają one uprawnienia dostępu do magistrali, mogą tylko potwierdzać otrzymane przesyłki, lub odpowiadać na zapytania ze stacji master. Urządzenia slave są nazywane stacjami pasywnymi. Wykorzystują one tylko część protokołu i dlatego implementacja protokołu w tych stacjach może być bardzo prosta.

Protokoły komunikacyjne sieci PROFIBUS definiuje norma DIN 19 245 - części 1, 2, 3. Przy opracowaniu normy wykorzystano wiele wcześniejszych standardów międzynarodowych. Architektura protokołu PROFIBUS stosuje model odniesienia OSI według normy ISO 7498. Definicja obejmuje warstwę 1 (fizyczną), 2 (liniową) i 7 (aplikacyjną) siedmiowarstwowego modelu OSI/ISO.

Użytkownicy, tzn. wykonywane w węzłach aplikacje, mogą korzystać z sieci za pośrednictwem usług warstwy liniowej, w przypadku sieci PROFIBUS zwanej także warstwą łącza danych lub usług warstwy aplikacyjnej. Usługi warstwy łącza danych implementują niezawodną komunikację węzłów z potwierdzaniem komunikatów, komunikację bez potwierdzenia i nagłaśnianie (*broadcast*). Usługi warstwy aplikacyjnej implementują niezawodne przekazywanie obiektów programowych: zmiennych, zdarzeń, programów i wywołań programów poprzez logiczne połączenia otwarte między dwoma aplikacjami oraz bezpołączeniowe przekazywanie zmiennych i zdarzeń do aplikacji wykonywanych w wielu węzłach. Usługi warstwy zarządzania są wykorzystywane m.in. podczas konfigurowania sieci.

Najważniejsze elementy architektury protokołów PROFIBUS-FMS i PROFIBUS-DP przedstawiono na rys. 3. Obie wersje stosują identyczny protokół dostępu do medium (warstwa 2) i tę samą technikę transmisji (warstwa 1).

W wersji FMS nie występują warstwy od 3 do 6. Niezbędne funkcje tych warstw są włączone do interfejsu LLI (Lower Layer Interface) stanowiącego część warstwy 7. Protokół Specyfikacji Przesyłek Magistrali Miejscowej FMS (Fieldbus Message Specification) zawiera protokół aplikacyjny i oferuje niezbędne usługi komunikacyjne. Protokół FMS jest interfejsem między systemem komunikacyjnym a użytkownikiem.

**PROFIBUS - FMS**

**PROFIBUS - DP**

*Aplikacja*

	<p><b>ALI</b>  <b>Interfejs warstwy aplikacji</b>                  (Application Layer Interface)</p>	<p><b>Interfejs użytkownika</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>Łącznik odwzorowujący Direct-Data-Link Mapper (DDLMM)</p> </div>	<p><b>DIN 19245 część 3</b></p>
<p><b>DIN 19245 część 2</b></p>	<p><b>Warstwa aplikacji ( 7 )</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>Specyfikacja przesyłek Fieldbus - FMS (Fieldbus Message Specification)</p> </div> <p>Interfejs do warstw niższych - LLI (Lower Layer Interface)</p>	<p>Warstwa 7 nie występuje</p>	
	<p>Warstwy 3-6 nie występują</p>	<p>Warstwy 3-6 nie występują</p>	
<p><b>DIN 19245 część 1</b></p>	<p><b>Warstwa łącza danych ( 2 )</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>(Fieldbus Data Link)</p> </div> <p><b>Warstwa fizyczna ( 1 )</b></p>	<p><b>Warstwa łącza danych ( 2 )</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>(Fieldbus Data Link)</p> </div> <p><b>Warstwa fizyczna ( 1 )</b></p>	<p><b>Podzbiór DIN 19245 część 1</b></p>

**Medium Transmisyjne PROFIBUS**

**Rys. 3. Protokoły sieci PROFIBUS**

Usługi protokołu FMS są w przybliżeniu podzbiorem funkcji protokołu MMS (według normy ISO 9506) stosowanego powszechnie w systemach MAP. Dodatkowo zostały zdefiniowane funkcje zarządzania siecią miejscową i jej obiektami.

W wersji DP nie są wykorzystywane warstwy od 3. do 7. Warstwa aplikacji (7) jest usunięta w celu zwiększenia szybkości pracy. Moduł DDLM (Direct Data Link Mapper) dokonuje kojarzenia i powiązania funkcji warstwy 2. z interfejsem użytkownika. Funkcje aplikacyjne dostępne dla użytkownika są zawarte w bloku interfejsu użytkownika, który ponadto określa specyficzne funkcjonowanie systemu i urządzenia w różnych typach urządzeń wersji PROFIBUS-DP.

W następnych dwóch punktach (3.2 i 3.3) zostaną omówione warstwy 1. i 2., jednakowo w wersjach FMS i DP, natomiast oddzielnie, w rozdziałach 4. i 5. zostaną przedstawione zupełnie odmienne warstwy najwyższe tych wersji i inne cechy różnicujące.

### 3.2. Warstwa (1) fizyczna

Warstwa fizyczna odpowiada za nadawanie i odbieranie bitów danych i nie wprowadza własnej struktury przekazywanych komunikatów. Warstwa fizyczna sieci PROFIBUS komunikuje się z warstwą łącza danych za pomocą dwóch operacji elementarnych:

*PHY\_DATA request* – żądanie nadania bitu skierowane przez warstwę łącza danych do warstwy fizycznej; parametrem operacji jest wartość bitu,

*PHY\_DATA indication* – informacja skierowana przez warstwę fizyczną do warstwy łącza danych o odebraniu bitu.

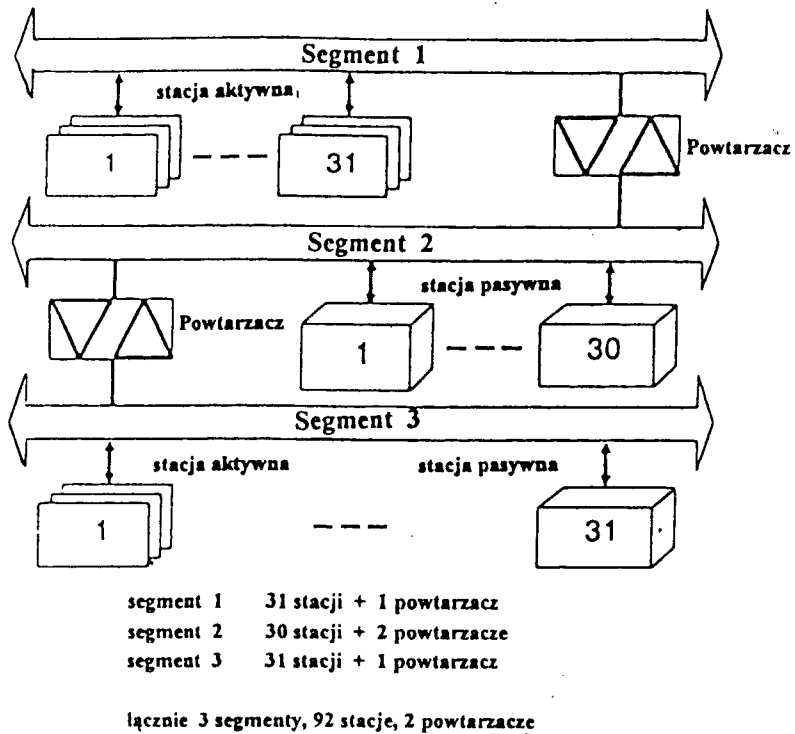
Usługi warstwy fizycznej są niewidoczne na poziomie aplikacji.

Obszar zastosowań sieci miejscowych zależy w dużym stopniu od doboru mediów transmisyjnych i interfejsu do magistrali. Największe znaczenie mają wymagania dotyczące bezbłędności transmisji oraz koszt urządzeń i okablowania. By sprostać wymogom aplikacji przemysłowych sieć PROFIBUS może stosować różne media i odpowiednio różne techniki transmisji.

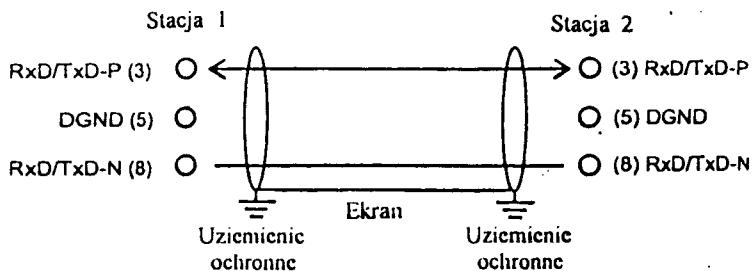
**Medium przewodowe** – jest traktowane jako rozwiązanie podstawowe do zastosowań w wytwarzaniu, instalacjach w budynkach i przy sterowaniu napędami. Definicja warstwy fizycznej wykorzystuje normę EIA RS-485. Podstawową strukturą sieci jest liniowy segment kabla (tabl. 1), zakończony na obydwu krańcach terminatorami. Segmenty sieci można łączyć za pomocą powtarzaczy (repeater) w taki sposób, aby między dwoma dowolnymi stacjami znajdowały się co najwyżej trzy powtarzacze. Maksymalnie sieć może się więc składać z czterech segmentów połączonych w łańcuch (rys. 4) lub z większej liczby segmentów połączonych gwiazdźście. Ze względu na ograniczenia wynikające ze sposobu adresowania sieć może zawierać co najwyżej 127 stacji.

Stacje dołącza się do segmentu kabla za pomocą 9-stykowych złączy ISO 4902

(szufladowych), przy czym gniazda powinny być instalowane w węzłach, a wtyki na przewodach doprowadzających. Norma określa rozmieszczenie sygnałów na stykach złącza (rys. 5). Minimalne okablowanie sieci składa się z pary przewodów przenoszących sygnały danych.



Rys. 4. Topologia sieci wielosegmentowej



Rys. 5. Rozmieszczenie sygnałów na złączu magistrali



Tabl. 1. Parametry segmentu sieci

Rodzaj kabla	ekranowana skrętka o impedancji falowej 100...130 $\Omega$ , pojemności między przewodami nie przekraczającej 60 pF/m i przekroju przewodnika co najmniej 0,22 mm <sup>2</sup>
Topologia	liniowa bez odgałęzień, długość doprowadzeń do węzłów $\leq 0,3$ m
Szybkość transmisji	9,6 19,2 93,75 187,5 500 kbit/s 1,5 do 12 Mbit/s
Długość segmentu	zależy od szybkości transmisji i wynosi : $\leq 1200$ m dla szybkości $\leq 93,75$ kbit/s $\leq 200$ m dla szybkości $\leq 1500$ kbit/s $\leq 200$ m dla szybkości $\leq 12$ Mbit/s
Liczba węzłów	co najwyżej 32 stacje (lub powtarzaczki) w obrębie segmentu

Parametry elektryczne sieci PROFIBUS są zgodne ze specyfikacją sprzęgu RS-485 (tabl. 2). Szczególne znaczenie mają określone w tej specyfikacji wartości rezystancji nadajnika i odbiornika. Maksymalna liczba węzłów dołączonych do segmentu sieci jest ograniczona do 32 węzłów reprezentujących standardowe obciążenie wynikające z tych rezystancji. Przy napięciu 12 V jeden nadajnik obciąża linię prądem 0,1 mA, a odbiornik prądem 1 mA. Jeżeli zastosowane układy odbiorników i nadajników wnoszą mniejsze obciążenie, to możliwe jest dołączenie do segmentu sieci większej liczby węzłów.

Tabl. 2. Parametry obwodów transmisyjnych sprzęgu RS-485

Parametr	Wartość
Rodzaj transmisji	różnicowa
Wyjście nadajnika	$\geq 1,5$ V
Czułość odbiornika	$\pm 200$ mV
Napięcie wspólne	-7 V ... +12 V
Prąd zwarcia	$\leq 150$ mA (do masy) $\leq 250$ mA (do -8 V, +12 V)
Rezystancja wyjściowa nadajnika	$\geq 120$ k $\Omega$
Rezystancja wejściowa odbiornika	$\geq 12$ k $\Omega$
Przykładowy nadajnik/odbiornik	SN75176A, DS3695

Medium optyczne umożliwia zwiększenie długości magistrali przy dużych prędkościach transmisji, jak też pozwala na przekaz danych w obszarach o wysokim poziomie zakłóceń. W realizacjach stosuje się szybkości przekazu 93,75; 187,5; 375 i 500 kbit/s.

Do przesyłania sygnałów binarnych jest wykorzystywana kluczowana modulacja częstotliwości z fazą zerową. Bit o wartości "0" jest transmitowany za pomocą częstotliwości dwukrotnie wyższej od szybkości przekazu, bit o wartości "1" za pomocą częstotliwości 4 lub 8 razy wyższej od szybkości przekazu.

Wersja iskrobezpieczna PROFIBUS-PA jest definiowana w powstającej części 4. normy DIN 19245. Ma być ona zgodna z projektem uzupełniającym IEC 65/C/1158-2/A3: FIELDBUS DRAFT N 3 do normy 1158-2, rozesłanym do głosowania w okresie od stycznia do czerwca 1996r.

Różnice w stosunku do wersji FMS i DP będą dotyczyły głównie warstwy fizycznej, w celu rozszerzenia zastosowań na strefy zagrożone wybuchem, często występujące, np. w przemyśle chemicznym. Wersja zapewni zarówno możliwość zasilania stacji energią przesyłaną po przewodach magistrali, jak i spełnienie wymogów iskrobezpieczeństwa przez odpowiednie ograniczenie energii zasilania doprowadzanego do stacji oddalonych, energii sygnału oraz pojemności i indukcyjności segmentu sieci.

Główne parametry:

- medium elektryczne, przewodowe, para skręcana,
- topologia magistrali szynowa i drzewiasta,
- szybkość transmisji 31,25 kbit/s,
- kodowanie Manchester,
- możliwość zasilania stacji przez medium transmisyjne, napięciem w zakresie 9...32 V DC,
- możliwość włączania barier iskrobezpiecznych,
- sygnały napięciowe nałożone na napięcie zasilające, amplituda w granicach 150 mV<sub>p-p</sub> do 1 V<sub>p-p</sub>, kształt trapezoidalny w celu zmniejszenia emisji elektromagnetycznej,
- liczba stacji w jednym segmencie do 32; dla opcji z zasilaniem szynowym i z barierami iskrobezpiecznymi liczba stacji jest mniejsza i wyznacza się ją w zależności od pobieranego prądu zasilania i długości segmentu iskrobezpiecznego.

### 3.3. Warstwa (2) łączy danych

Druga warstwa modelu odniesienia realizuje funkcje sterowania dostępem do medium i zabezpieczenia danych, jak również wykonuje zadania protokołu komunikacyjnego wraz z tworzeniem i obsługą przesyłek.

W sieci PROFIBUS warstwa 2. łączy danych jest nazwana FDL (Fieldbus Data Link). Jej podwarstwa MAC (sterowanie dostępem do medium) określa, kiedy stacja może nadać i zapewnia, iż tylko jedna stacja nadaje w danej chwili.

Protokół PROFIBUS łączy dwa zasadnicze wymagania podwarstwy MAC (Medium Access Control):

- a) w przypadku komunikacji między złożonymi urządzeniami automatyki, o równych prawach dostępu do medium, należy zapewnić każdej stacji warunki do wykonania jej zadań komunikacyjnych w ściśle określonym przedziale czasu,
- b) w przypadku komunikacji między złożonym urządzeniem centralnym a prostym urządzeniem oddalonym (typu slave) wymiana danych powinna być cykliczna, następować jak najszybciej i przy użyciu jak najprostszycch środków.

Definicja warstwy łącza danych określa sposób ustalania prawa nadawania, tzn. protokół dostępu węzłów do łącza (*medium access method*) oraz protokół komunikacyjny (*transmission protocol*), którego elementem jest m.in. sposób adresowania węzłów oraz definicja struktury przekazywanych komunikatów (*frame*). Wszystkie węzły sieci są identyfikowane numerycznymi adresami z zakresu 0..126. Adres 127 jest zarezerwowany jako umowny adres nagłaśniania sieci. Węzły dzielą się na aktywne (*master*), które mogą nadawać komunikaty z własnej inicjatywy, i bierne (*slave*), które mogą tylko przyjmować dane i odpowiadać na zapytania węzłów aktywnych. W normalnych warunkach pracy sieć znajduje się zawsze pod nadzorem jednego z węzłów aktywnych, który może komunikować się w tym czasie z innymi węzłami.

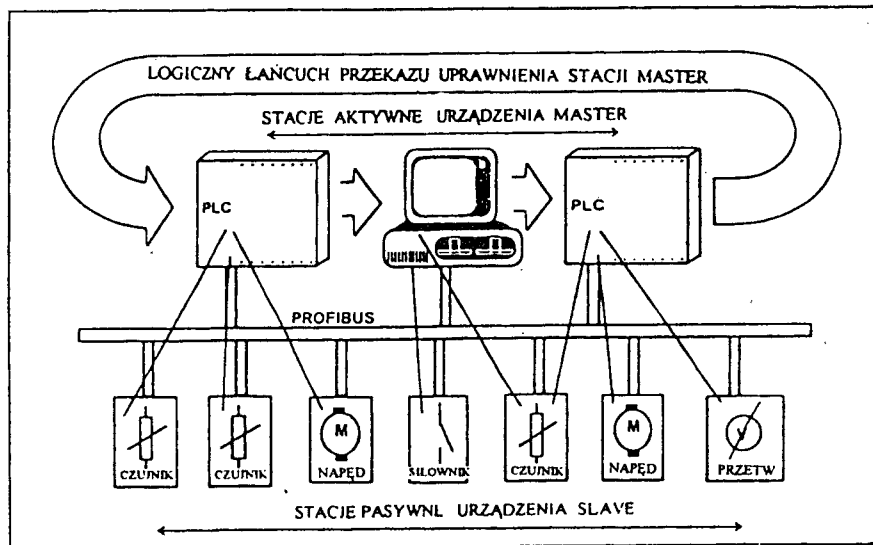
Komunikacja węzłów aktywnych z węzłami biernymi składa się z zamkniętych transakcji: wysłania komunikatu akcji, zawierającego dane lub żądanie danych, i odbioru komunikatu odpowiedzi, zawierającego potwierdzenie lub dane. Wszystkie transakcje dzielą się na priorytetowe (o wysokim priorytecie) i niepriorytetowe (o niskim priorytecie). Transakcje priorytetowe są wykonywane w pierwszej kolejności, przed transakcjami niepriorytetowymi. Protokół przekazywania znacznika i reguły wykonywania transakcji gwarantują zachowanie określonego czasu reakcji, wyznaczonego przez maksymalny czas zwłoki między nadaniem przez węzeł dwóch kolejnych wiadomości priorytetowych przy pełnym obciążeniu sieci.

### 3.3.1. PROTOKÓŁ DOSTĘPU DO ŁĄCZA

Protokół dostępu do medium zastosowany w sieci PROFIBUS ma charakter mieszany, hybrydowy (rys. 6). Zawiera on mechanizm przekazywania uprawnienia dostępu między stacjami master i mechanizm obiegu cyklicznego master-slave do komunikacji ze stacjami typu slave.

Metoda przekazywania uprawnienia dostępu polega na przydzielaniu dostępu na ściśle określony czas za pomocą przekazywania między stacjami master specjalnej przesyłki (znacznik, ang. token), uprawniającej do inicjowania przekazu danych. Uprawnienie dostępu jest przekazywane między wszystkimi stacjami master, tworzącymi logiczny łańcuch uprawnienia, w nieprzekraczalnym (maksymalnym) czasie obiegu. W sieci PROFIBUS metoda ta jest stosowana tylko do komunikacji między stacjami złożonymi - master.

Przekazywanie znacznika odbywa się zawsze w kolejności rosnących adresów; wyjątkiem jest węzeł aktywny o najwyższym adresie, który przekazuje token węzłowi o adresie najniższym. Standard PROFIBUS nie narzuca żadnych ograniczeń na sposób określania adresów węzłów, które nie muszą być kolejnymi liczbami naturalnymi.



Rys. 6. Mieszana metoda dostępu do magistrali

Po otrzymaniu uprawnienia węzeł aktywny może zawsze zrealizować jedną transakcję priorytetową. Transakcje niepriorytetowe mogą być realizowane tylko wtedy, gdy nie naruszy to zadanego czasu obiegu znacznika. Sytuacje awaryjne, związane z pojawieniem się w sieci podwójnego znacznika lub ze zgubieniem znacznika, są wykrywane i rozwiązywane automatycznie. Procedura restartu sieci po awarii może jednak naruszyć założony czas obiegu znacznika i maksymalny czas zwłoki nadania wiadomości.

Węzły bierne nie mogą ubiegać się o prawo nadawania komunikatów w sieci. Pracują zawsze w trybie odpytywania (*polling*), który jedynie umożliwia natychmiastową odpowiedź na zapytanie otrzymane od węzła aktywnego. Czas pracy sieci dzieli się więc na permanentnie powtarzane okresy, w których kolejne węzły aktywne odpytują wybrane przez siebie węzły bierne.

Hybrydowa zasada dostępu w sieci PROFIBUS pozwala zaimplementować w konkretnych aplikacjach:

- wyłącznie system master-slave,
- wyłącznie system master-master (token passing, jak w sieci IEEE 802.4),
- rozwiązanie mieszane, łączące obie wspomniane wyżej możliwości pracy.

Rysunek 6 przedstawia przykładowy segment sieci, z zaznaczonymi trzema stacjami master i siedmioma stacjami slave. Stacje master tworzą logiczny pierścień przekazywania

uprawnienia, utworzony przez adresy stacji. Uprawnienie przechodzi od stacji do stacji, w kolejności wyznaczonej rosnącymi adresami. Przez czas posiadania uprawnienia stacja aktywna może wykonywać swoje funkcje master na magistrali. Może komunikować się z każdą ze stacji slave za pomocą relacji komunikacyjnej master-slave, jak też z inną dowolną stacją master za pomocą relacji komunikacyjnej master-master.

W fazie uruchamiania sieci zadaniem podwarstwy MAC każdej aktywnej stacji jest ustanowienie logicznego pierścienia obiegu uprawnienia. Natomiast w fazie pracy podwarstwa utrzymuje obieg uprawnienia, usuwa z pierścienia stacje uszkodzone bądź wyłączone oraz wprowadza do pierścienia nowe stacje aktywne.

Ponadto podwarstwa MAC wykrywa uszkodzenia medium transmisyjnego lub warstwy fizycznej, wykrywa błędy adresowania stacji (np. zwielokrotnione użycie adresu) oraz wykrywa błędy obiegu uprawnienia – np. utratę lub zwielokrotnienie znacznika.

### 3.3.2. PROTOKÓŁ KOMUNIKACYJNY

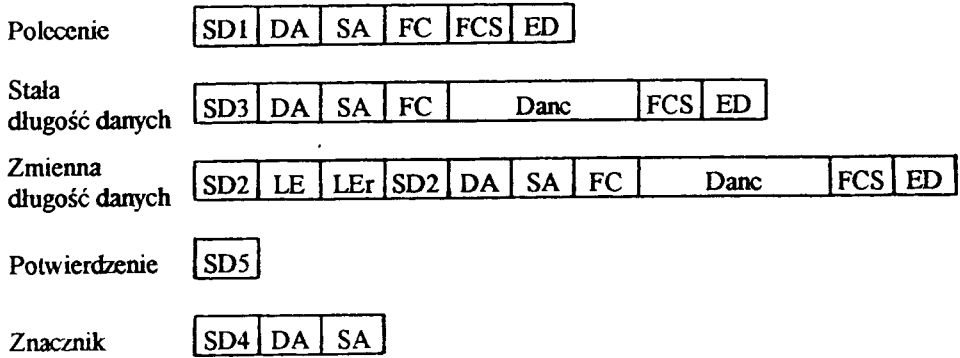
Wszystkie komunikaty przekazywane w sieci PROFIBUS składają się z 11-bitowych znaków zawierających 8 bitów danych i 3 bity techniczne: startu (0), parzystości i stopu (1). Kolejne znaki wewnątrz komunikatu są nadawane jeden po drugim bez przerw między znakami. Przerwy między kolejnymi komunikatami nie są dokładnie określone. Wyjątek stanowią komunikaty akcji, których nadanie musi być poprzedzone przerwą (spoczynkowy stan linii), o długości równej okresowi nadania 3 znaków.

**Struktura komunikatów.** Każdy komunikat składa się ze znacznika początku (SD), pola danych o stałej lub zmiennej długości, sumy kontrolnej (FCS) i znacznika końca (ED). Wyjątkiem są komunikaty krótkiego potwierdzenia, które zawierają tylko znacznik początku. Pole danych rozpoczyna się zawsze 3-znakowym nagłówkiem zawierającym adres węzła odbiorcy (DA), adres węzła nadawcy (SA) i znak sterujący (FC). Łączna długość komunikatu nie może w żadnym przypadku przekroczyć 255 znaków.

Protokół komunikacyjny przewiduje pięć rodzajów komunikatów przekazywanych między węzłami (rys. 7). Komunikat ze znacznikiem SD1 przynosi polecenie zakodowane w znaku FC i nie zawiera danych. Komunikat ze znacznikiem SD3 zawiera pole danych o stałej długości 8 bajtów. Komunikat ze znacznikiem SD2 zawiera pole danych o zmiennej długości – liczba znaków danych jest zapisana dwukrotnie w znakach LE i LEr. Długość pola danych nie może przekroczyć 246. Wszystkie trzy rodzaje komunikatów mogą przynosić zarówno dane lub żądania węzła inicjującego transakcję jak i odpowiedź węzła zapytanego. Jeśli odpowiedź ma charakter binarnego potwierdzenia, to może ono być zawarte w jednoznakowym komunikacie typu SD5. Komunikat ze znacznikiem SD4 przynosi znacznik przekazywany następnemu węzłowi w pierścieniu obiegu znacznika.

**Adresowanie węzłów i portów.** Zawarte w komunikatach adresy DA i SA jednoznacznie wskazują komunikujące się węzły. Każdy węzeł może jednak wykonywać wiele

różnych funkcji, komunikujących się wzajemnie ze sobą. W takim przypadku konieczny jest dokładniejszy mechanizm adresowania, umożliwiający wskazanie nie tylko węzła sieci lecz także funkcji (np. zadania), do którego jest skierowany komunikat. Mechanizm taki tworzą w sieci PROFIBUS porty SAP (*Service Access Point*).



Rys. 7. Struktury komunikatów

Każdy znak adresowy (DA i SA) zawiera osiem bitów, z których siedem tworzy adres węzła, a jeden pełni rolę wskaźnika rozszerzenia adresu. Indywidualne adresy węzłów muszą zawierać się w zakresie 0...126 (co ogranicza maksymalną liczbę węzłów sieci do 127). Jeżeli wskaźnik rozszerzenia adresu ma wartość 1, to w polu danych komunikatu pojawia się dodatkowy znak, interpretowany jako numer portu w obrębie węzła. Indywidualne numery portów muszą zawierać się w zakresie 0...62.

W protokole PROFIBUS dostępne są usługi komunikacji między stacjami, transmisje do grupy stacji oraz komunikaty rozgłoszeniowe. Transmisja do grupy stacji (multicast) polega na przesłaniu nie potwierdzanej przesyłki ze stacji aktywnej do grupy stacji master lub slave. Transmisja rozgłoszeniowa (broadcast) polega na wysłaniu przesyłki nie potwierdzanej do wszystkich innych stacji. Adres DA = 127 wyróżnia komunikaty rozgłoszeniowe, kierowane do odbiorców we wszystkich węzłach. Wśród komunikatów rozgłoszeniowych numer DSAP = 63 wyróżnia komunikaty skierowane do wszystkich odbiorców (*broadcast*), a numer DSAP ≠ 63 komunikaty skierowane do grupy odbiorców korzystających z tego portu (*multicast*).

Ważnym zadaniem warstwy 2 jest także zabezpieczenie danych. Przesyłki są zabezpieczane, wg normy IEC 870-5-1, sekwencjami startowymi i końcowymi bitem parzystości po każdym okciecie a także polem sumy kontrolnej. Odległość Hamminga wynosi zawsze 4.

### 3.3.3. USŁUGI KOMUNIKACYJNE

Warstwa łącza danych udostępnia użytkownikom (aplikacjom) węzłów aktywnych 4 rodzaje usług: nadanie danych z potwierdzeniem, nadanie danych bez potwierdzenia, nadanie danych i żądanie danych jako odpowiedzi oraz cykliczne nadawanie i żądanie danych jako odpowiedzi. Wszystkie usługi są opcjonalne, więc zestaw usług wykonywanych przez różne węzły sieci może być różny. Na poziomie sieci każda usługa jest realizowana przez transakcje wykonywane przez węzeł aktywny, w którym tę usługę wywołano. Jak to poniżej opisano, odrębne podzbiory usług warstwy 2. są stosowane w wersjach systemu PROFIBUS-FMS i PROFIBUS-DP.

**Nadanie danych z potwierdzeniem SDA** (*Send data with acknowledge*). Usługa jest oferowana tylko w wersji PROFIBUS-FMS. Wykonanie usługi umożliwia użytkownikowi inicjującemu wysłanie komunikatu akcji, zawierającego dane do użytkownika docelowego i odebranie pozytywnego lub negatywnego potwierdzenia odbioru. Potwierdzenie pozytywne jest wysyłane przez warstwę łącza danych węzła docelowego po bezbłędnym odebraniu komunikatu i przekazaniu danych użytkownikowi. Brak potwierdzenia, potwierdzenie negatywne lub błąd w odbiorze odpowiedzi powodują retransmisję komunikatu akcji przez warstwę łącza danych węzła wykonującego transakcję realizującą tę usługę.

**Nadanie danych bez potwierdzenia SDN** (*Send data with no acknowledge*). Usługa jest oferowana w obu wersjach PROFIBUS-FMS i DP. Wykonanie usługi umożliwia użytkownikowi inicjującemu wysłanie komunikatu akcji, zawierającego dane do użytkownika docelowego, grupy użytkowników (*multicast*) lub do wszystkich użytkowników sieci (*broadcast*). Warstwa łącza danych nie gwarantuje poprawności przekazania komunikatu, nie otrzymuje potwierdzeń odbioru i nie wykonuje retransmisji.

**Nadanie danych z żądaniem danych jako odpowiedzi SRD** (*Send and request data with reply*). Usługa jest oferowana w obu wersjach – PROFIBUS-FMS i DP. Wykonanie usługi umożliwia użytkownikowi inicjującemu wysłanie komunikatu akcji do użytkownika docelowego i odebranie w odpowiedzi komunikatu zawierającego dane, przygotowane wcześniej przez użytkownika docelowego. Komunikat użytkownika inicjującego może zawierać dane i żądanie odpowiedzi lub jedynie żądanie odpowiedzi. Komunikat odpowiedzi jest wysyłany przez warstwę łącza danych węzła docelowego po bezbłędnym odebraniu komunikatu użytkownika inicjującego i przekazaniu zawartych w nim danych użytkownikowi docelowemu. Brak komunikatu odpowiedzi, potwierdzenie negatywne lub błąd w odbiorze odpowiedzi powodują retransmisję komunikatu akcji przez warstwę łącza danych węzła inicjującego.

**Cykliczne nadawanie i żądanie danych jako odpowiedzi CSRD** (*Cyclic Send and request data with reply*). Usługa jest oferowana tylko w wersji PROFIBUS-FMS. Wykonanie usługi umożliwia użytkownikowi inicjującemu cykliczne odpytywanie jednego lub wielu użytkowników docelowych. Proces odpytywania polega na wysyłaniu komunikatów

akcji do użytkowników docelowych i odbieranie w odpowiedzi komunikatów zawierających dane przygotowane wcześniej przez tych użytkowników. Komunikaty akcji mogą zawierać dane i żądania odpowiedzi lub jedynie żądania odpowiedzi. Sposób wymiany komunikatów z każdym użytkownikiem docelowym jest taki sam, jak podczas realizacji usługi SRD. Na poziomie sieci wymiana komunikatów z każdym odpytywanym użytkownikiem docelowym jest realizowana jako odrębna transakcja niepriorytetowa.

Przed wywołaniem usługi użytkownik inicjujący musi zdefiniować dane przeznaczone do wysyłania do użytkowników docelowych, określić listę odpytywania zawierającą adresy i numery portów odpytywanych użytkowników docelowych oraz włączyć odpytywanie poszczególnych użytkowników docelowych. Podczas realizacji usługi kolejni użytkownicy docelowi są odpytywani w kolejności ich wyliczenia na liście odpytywania. Ten sam użytkownik może być wymieniony na liście wielokrotnie. Proces odpytywania trwa od chwili określenia listy odpytywania do chwili wyłączenia tego procesu. W tym czasie użytkownik inicjujący nie może wywołać tej usługi po raz drugi.

### 3.4. Usługi warstwy zarządzania

Warstwa zarządzania (FMA1/2), wspólna do warstw 1. i 2., udostępnia użytkownikom (aplikacjom) węzłów kilka usług umożliwiających określenie warunków pracy warstwy fizycznej i warstwy łącza danych. Większość usług jest opcjonalna, więc zestaw usług wykonywanych przez różne węzły sieci może być różny. W praktycznych implementacjach sieci większość usług warstwy zarządzania nie jest wykonywana programowo, podczas pracy sieci, lecz interakcyjnie podczas ustalania jej konfiguracji.

**Zerowanie** (*Reset FMA1/2*) — usługa obowiązkowa. Wykonanie usługi powoduje zerowanie warstwy fizycznej i warstwy łącza danych, tzn. wprowadzenie ich w stan istniejący bezpośrednio po włączeniu zasilania.

**Powiadomienie o zdarzeniu** (*Event FMA1/2*) — usługa obowiązkowa. Wykonanie usługi powoduje przekazanie użytkownikowi informacji o błędach, które wystąpiły podczas pracy w warstwie fizycznej lub łącza danych.

**Ustawienie parametrów** (*Set value FMA1/2*) — usługa opcjonalna. Wykonanie usługi powoduje ustawienie parametrów określających warunki pracy warstwy fizycznej i warstwy łącza danych.

**Odczytanie parametrów** (*Read value FMA1/2*) — usługa opcjonalna. Wykonanie usługi powoduje odczytanie i przekazanie użytkownikowi parametrów określających warunki pracy warstwy fizycznej i warstwy łącza danych.

**Identyfikacja węzła** (*Ident FMA1/2*) — usługa opcjonalna. Wykonanie usługi powoduje sprawdzenie i przekazanie użytkownikowi informacji o rodzaju wskazanego węzła: nazwy wytwórcy, typu sprzęgu sieciowego i wersji oprogramowania.

**Odczytanie listy węzłów aktywnych** (*Live list FMA1/2*) — usługa opcjonalna. Wyko-



nanie usługi powoduje sprawdzenie i przekazanie użytkownikowi aktualnej listy węzłów sieci. Dla każdego węzła lista podaje jego adres oraz typ i stan.

**Włączenie portu** (*SAP activate FMA1/2, RSAP activate FMA1/2*) — usługi opcjonalne. Wykonanie usługi powoduje skonfigurowanie i włączenie wskazanego portu węzła. Dla wybranego portu określa się: rodzaje wykonywanych usług (SDA, SDN, SRD, CSRD), rolę podczas wykonywania każdej usługi (wywoływanie, odpowiadanie, obydwie role), długości buforów komunikatów priorytetowych i niepriorytetowych oraz adres węzła docelowego, na którego żądania port może odpowiadać.

**Wyłączenie portu** (*SAP deactivate FMA1/2, RSAP deactivate FMA1/2*) — usługi opcjonalne. Wykonanie usługi powoduje wyłączenie wskazanego portu po zakończeniu aktualnie wykonywanej transakcji.

**Odczytanie konfiguracji portu** (*LASP status FMA1/2*) — usługa opcjonalna. Wykonanie usługi powoduje sprawdzenie i przekazanie użytkownikowi parametrów konfiguracji wskazanego portu we wskazanym węźle. Parametry konfiguracji portu określają rodzaj wykonywanej usługi (SDA, SDN, SRD lub CSRD), rolę podczas wykonywania tej usługi (wywoływanie, odpowiadanie, obydwie role) oraz adres węzła docelowego, który może inicjować usługę.

#### 4. WARSTWA APLIKACYJNA (7) W SIECI PROFIBUS-FMS

PROFIBUS-FMS stanowi pierwszą wersję, początkowo ogólnego przeznaczenia, a obecnie ukierunkowaną na komunikację między sterownikami a inteligentnymi urządzeniami obiektowymi. Wersja FMS jest też preferowana do wzajemnej komunikacji między sterownikami czy innymi złożonymi, centralnymi urządzeniami automatyki. W tych zastosowaniach bogata funkcjonalność jest ważniejsza niż krótki czas reakcji. Najczęściej wymiana informacji jest acykliczna, odbywa się na żądanie procesu użytkowego.

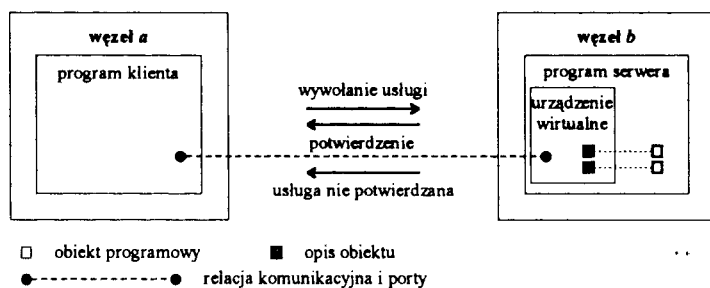
Usługi warstwy łącza danych (2.) umożliwiają węzłom sieci cykliczne lub niecykliczne przekazywanie komunikatów zawierających dane o dowolnej strukturze wewnętrznej. Dane te są ciągiem pewnej liczby bajtów, których treść nie jest interpretowana przez programy komunikacyjne. Określenie logicznej struktury danych musi być dokonane przez programy użytkowe. Uniemożliwia to automatyczną kontrolę poprawności treści komunikatów i utrudnia współpracę węzłów posługujących się różnymi formatami danych.

Usługi warstwy aplikacyjnej, zdefiniowane w specyfikacji FMS (*Fieldbus Message Specification*), umożliwiają programom wykonywanym w różnych węzłach sieci dostęp do obiektów programowych, takich jak: zmienne, tablice lub rekordy, zdefiniowanych we współpracującym programie. Program udostępniający swoje zasoby, np. do odczytu lub zapisu, jest nazywany serwerem, a program korzystający z tych zasobów – klientem. Te same programy mogą wywoływać różne usługi, pełniąc w niektórych rolę serwera, a w innych rolę klienta.

#### 4.1. Model komunikacji

Podstawowy schemat realizacji usług obejmuje wywołanie usługi przez program pełniący w tej usłudze rolę klienta i potwierdzenie wykonania przez program pełniący rolę serwera. Wywołanie usługi przynosi do serwera żądanie wykonania określonej operacji na wskazanym obiekcie, a potwierdzenie przynosi do klienta rezultat wykonania usługi lub komunikat o błędzie. Stosunkowo nieliczną grupę stanowią usługi nie potwierdzane, za pomocą których program serwera może poinformować klienta o swoim stanie.

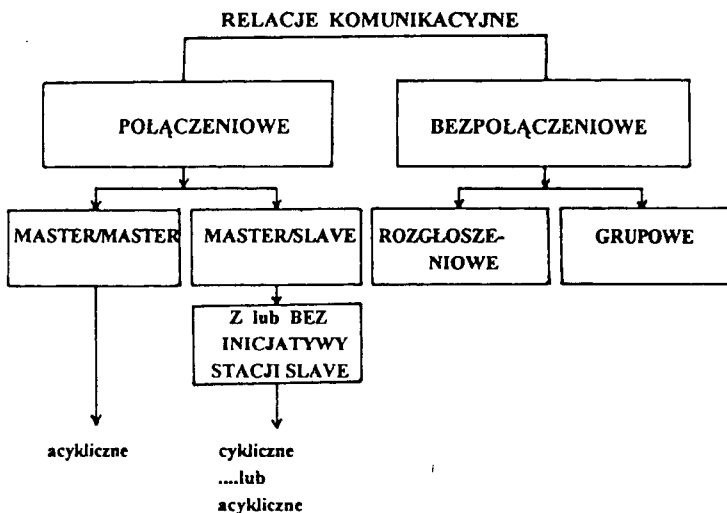
Możliwości wywoływania usług i pełnienia przez programy roli klienta lub serwera zależą od rodzaju węzłów, w których te programy są wykonywane. Programy wykonywane w węzłach aktywnych mogą wywoływać wszystkie usługi i pełnić rolę klienta lub serwera; programy wykonywane w węzłach biernych mogą pełnić tylko rolę serwera.



Rys. 8. Relacja komunikacyjna między klientem, a serwerem

**Relacje komunikacyjne CREL** (*Communication Relationship*). Logiczną konfigurację sieci, widzianą przez warstwę aplikacyjną, opisuje zbiór relacji komunikacyjnych (rys. 8). Każda relacja określa parę portów w dwóch różnych węzłach sieci oraz podstawowe atrybuty komunikacji między tymi przyłączami. Identyfikator relacji jest jednym z argumentów wywołania usługi. Zbiór obiektów programowych, widocznych dla warstwy aplikacyjnej w programie serwera, tworzy wirtualne urządzenie sieciowe, przypisane do jednej z relacji komunikacyjnych. Każde wirtualne urządzenie sieciowe należy do jednego programu i zawiera opis wszystkich obiektów tego programu. W tym samym węzle sieci może być zdefiniowane jedno lub wiele wirtualnych urządzeń sieciowych.

Relacje komunikacyjne reprezentują wobec warstwy aplikacyjnej fizyczną i logiczną strukturę sieci, określoną przez niższe warstwy oprogramowania. Rodzaje relacji komunikacyjnych w sieci PROFIBUS przedstawia rys. 9. W warstwie łącza danych każda relacja komunikacyjna jest przypisana do określonego portu własnego węzła oraz do adresu i numeru portu węzła docelowego. W warstwie aplikacyjnej z relacją komunikacyjną jest związane wirtualne urządzenie sieciowe, reprezentujące zasoby programu. Numer relacji CREF (*Communication Reference*) jest identyfikatorem relacji, używanym jako parametr adresowy w wywołaniach usług warstwy aplikacyjnej.



Rys. 9. Typy relacji komunikacyjnych protokołu FMS

Węzły aktywne mogą być połączone z węzłami biernymi za pomocą relacji komunikacyjnych następujących typów:

- cykliczny przekaz danych bez inicjatywy węzła biernego (*MSCY*),
- cykliczny przekaz danych z inicjatywą węzła biernego (*MSCY\_SI*),
- niecykliczny przekaz danych bez inicjatywy węzła biernego (*MSAC*),
- niecykliczny przekaz danych z inicjatywą węzła biernego (*MSAC\_SI*).

Węzły aktywne mogą być połączone za pomocą relacji komunikacyjnych typu:

- niecykliczny przekaz danych (*MMAC*).

Węzły aktywne mogą również występować w relacjach, które pozwalają na wysłanie wiadomości do procesów wykonywanych w wielu innych węzłach. W każdym z takich węzłów wiadomość może odbierać tylko jeden proces. Są to relacje typu:

- rozgłoszeniowe w sieci (*BRCT*),
- rozgłoszeniowe w grupie (*MULT*).

Relacje typu *MSCY*, *MSCY\_SI*, *MSAC*, *MSAC\_SI* i *MMAC* są relacjami połączeniowymi (*connection-oriented*), które gwarantują poprawność nadawania i odbierania danych przekazywanych podczas wykonania usług. Współpraca programów rozpoczyna się od nawiązania między nimi połączenia (*connection*), którego funkcjonowanie jest nadzorowane przez oprogramowanie komunikacyjne. Nadzór połączenia obejmuje sprawdzanie poprawności przekazywania komunikatów i inicjowanie retransmisji w razie wystąpienia błędów.

Relacje typu *BRCT* i *MULT* są relacjami bezpołączeniowymi (*connectionless*), które nie gwarantują poprawności przekazu. Wykonanie usługi sprowadza się do nadania ko-

munikatu przenoszącego dane, bez kontroli ich poprawnego odbioru. Relacje bezpołączeniowe wykorzystuje się do przekazywania danych skierowanych do odbiorców w wielu węzłach sieci. Przyjmuje się, że tylko klient może wywoływać usługi w relacjach bezpołączeniowych.

#### 4.2. Obiekty komunikacji

Specyfikacja FMS określa dwa rodzaje obiektów, na których działają usługi warstwy aplikacyjnej: obiekty jawne, których opisy są przechowywane w słowniku obiektów *OD* (*Object Dictionary*) i obiekty implikowane, zdefiniowane przez standard FMS. Rodzaje obiektów w powiązaniu z modelem protokołu FMS i usługami przedstawia rys. 10. Obiektami jawnymi mogą być następujące obiekty programowe:

- zmienna: prosta, tablica (szereg prostych zmiennych tego samego typu), rekord (sekwencja prostych zmiennych różnych typów),
- lista zmiennych,
- domena (*domain*), tzn. wydzielony obszar pamięci sieciowego urządzenia wirtualnego,
- wywołanie programu,
- zdarzenie (*event*).

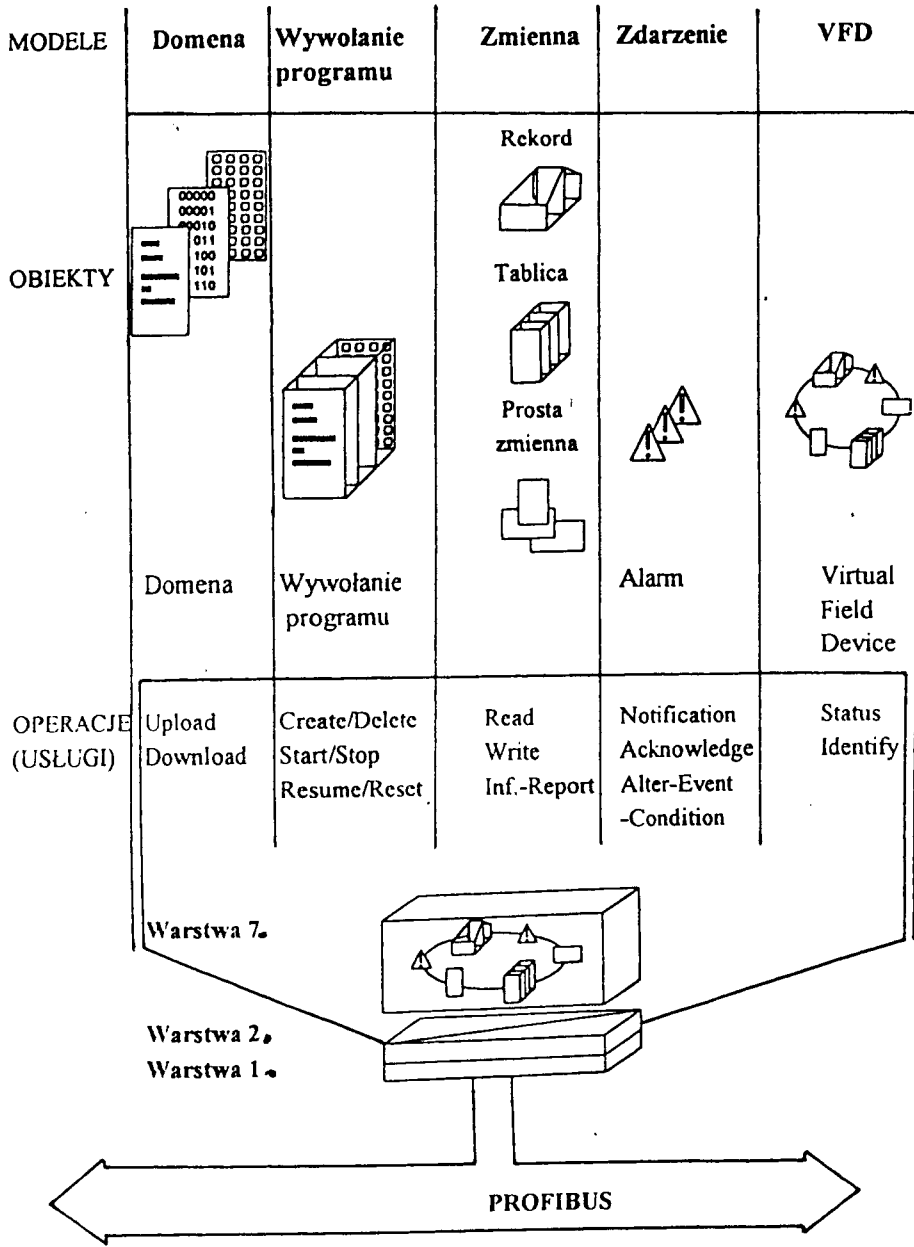
Obiektem jawnym jest również sam słownik obiektów (*OD*). Słownik składa się z:

- nagłówka zawierającego informacje o strukturze słownika,
- listy typów danych statycznych,
- słownika obiektów statycznych, zawierającego wszystkie statyczne obiekty,
- bieżącej listy list zmiennych, zawiera aktualną listę wszystkich znanych list zmiennych,
- bieżącej listy wywołań programów.

Natomiast obiektami implikowanymi są:

- wirtualne urządzenie sieciowe (*VFD*),
- typ danych,
- opis struktury typu danych,
- obiekt fizyczny (*physical access object*), tzn. segment pewnej liczby bajtów danych,
- opisy wszystkich obiektów jawnych.

Opisy wszystkich obiektów jawnych są przechowywane w słowniku obiektów (*OD*). Oznacza to, że wszystkie jawne obiekty komunikacji w stacjach sieci PROFIBUS wchodzi w skład lokalnego słownika obiektów *OD*. Podstawowymi elementami opisu obiektu są: rodzaj obiektu, typ danych związanych z tym obiektem, adres miejsca zapisania danych i ich długość oraz atrybuty praw dostępu. Słownik obiektów, utworzony statycznie podczas konfiguracji sieci, może być uzupełniany podczas pracy sieci. Obiekty list zmiennych i wywołań programów mogą być tworzone i usuwane dynamicznie przez wywołanie odpowiednich usług warstwy aplikacyjnej.



Rys. 10. Model FMS – obiekty i usługi

Dla prostych urządzeń słownik może być zawczasu (w fazie projektu) zdefiniowany. Natomiast dla urządzeń złożonych słownik jest konfigurowany i następnie lokalnie lub zdalnie ładowany do urządzenia. Słownik zawiera opisy, struktury i typy danych, jak również adresy obiektów komunikacyjnych urządzenia oraz ich odniesienia w sieci (indeks/nazwa).

Poszczególne części słownika podlegają implementacji, jeżeli w urządzeniu są realizowane odpowiednie funkcje. Statyczne obiekty komunikacyjne muszą być zdefiniowane w słowniku obiektów statycznych. Mogą być zdefiniowane wstępnie przez wytwórcę urządzenia lub są definiowane w czasie konfiguracji sieci. Statyczne obiekty komunikacji są stosowane najczęściej do komunikacji w obszarze produkcji.

Dynamiczne obiekty komunikacyjne wchodzą do części dynamicznej słownika. Mogą być definiowane wstępnie przy konfigurowaniu, bądź są definiowane bieżąco, wymazywane lub zmieniane w toku realizacji usług użytkowych. Protokół PROFIBUS utrzymuje następujące dynamiczne obiekty komunikacyjne:

- wywołanie programu,
- lista zmiennych: kolejność prostych zmiennych, tablic lub zapisów.

**Adresowanie obiektów.** Podstawowym sposobem adresowania obiektów wirtualnego urządzenia sieciowego jest adresowanie indeksowe, w którym obiekt jest wskazywany przez podanie indeksu tego obiektu w słowniku obiektów. Indeks obiektu jest 15-bitową liczbą bez znaku. Tryb adresowania indeksowego jest obowiązkowy w stosunku do wszystkich obiektów programowych i ich opisów, typów danych oraz opisów struktury typów danych. Dla każdego obiektu komunikacyjnego indeks jest określony w słowniku OD. Taki wybór adresowania skraca przesyłki i upraszcza protokół.

**Autoryzacja dostępu.** Dostęp programów-klientów do obiektów wirtualnego urządzenia sieciowego może podlegać ograniczeniom określonym przez atrybuty praw dostępu, przechowywane w opisach tych obiektów w słowniku OD. Działanie systemu kontroli opiera się na odróżnianiu programów uprzywilejowanych, znających ustalone hasło, programów należących do określonych grup dostępu i pozostałych programów. W skład atrybutów praw dostępu, zapisanych dla każdego obiektu w opisie tego obiektu w słowniku OD, wchodzi:

- hasło, którego znajomość wyróżnia użytkownika uprzywilejowanego,
- nazwa grup dostępu, wyróżniająca użytkowników uprawnionych do korzystania z obiektu,
- wskaźnik praw dostępu, określający prawa użytkowników uprzywilejowanych, użytkowników należących do grup dostępu i pozostałych użytkowników, z każdą z tych kategorii użytkowników są związane znaczniki uprawniające do odczytu, zapisu i wykonania.

W chwili nawiązania połączenia, program klienta identyfikuje się, przesyłając do serwera swoją maskę przynależności do grup dostępu oraz hasło. Zgodność tych parametrów z atrybutami dostępu poszczególnych obiektów decyduje o przyznaniu lub nie przyznaniu klientowi prawa do wykonania żądanych przez niego usług.

### 4.3. Usługi warstwy aplikacyjnej

Usługi warstwy aplikacyjnej udostępniają programom pełniącym rolę klientów obiekty zdefiniowane w wirtualnym urządzeniu sieciowym związanym z programem serwera. Wykonanie większości usług sprowadza się do przesyłania między węzłami sieci wartości przypisanych do obiektów lub poleceń zmieniających stan obiektów. Większość usług jest opcjonalna – tylko 6 pierwszych usług, spośród wszystkich wymienionych w tym punkcie (z pominięciem *UnsolicitedStatus*), jest obowiązkowa. W praktycznych implementacjach realizowane są na ogół wszystkie usługi obowiązkowe oraz usługi umożliwiające przekazywanie danych: *Read*, *Write*, *EventNotification* i *AcknowledgeEventNotification*.

#### 4.3.1. USŁUGI ADMINISTRACYJNE

<i>Initiate:</i>	nawiązanie połączenia.
<i>Abort:</i>	usunięcie połączenia.
<i>Reject:</i>	odrzućcie otrzymanego komunikatu.
<i>Identify:</i>	identyfikacja urządzenia. Wykonanie usługi powoduje odczytanie nazwy producenta urządzenia, nazwy modelu i numeru wersji.
<i>Status:</i>	odczytanie stanu wirtualnego urządzenia sieciowego.
<i>UnsolicitedStatus:</i>	raport stanu urządzenia. Wykonanie usługi powoduje spontaniczne wysłanie raportu informującego o stanie urządzenia lub stanie związanego z nim programu.
<i>GetOD:</i>	odczyt opisu obiektu ze słownika obiektów.
<i>InitiatePutOD:</i>	przygotowanie zapisu opisów obiektów do słownika obiektów.
<i>PutOD:</i>	zapis opisów obiektów.
<i>TerminatePutOD:</i>	zakończenie zapisu opisów obiektów do słownika obiektów.

#### 4.3.2. ŁADOWANIE DANYCH DO PAMIĘCI

<i>RequestDomainDownload:</i>	żądanie zapisu bloku danych. Wykonanie usługi przez program serwera informuje klienta o konieczności zapisu bloku danych do pamięci serwera.
-------------------------------	--

<i>InitiateDownloadSequence:</i>	przygotowanie zapisu danych. Wykonanie usługi powoduje przygotowanie serwera na przyjęcie bloku danych przysłanych przez program klienta.
<i>DownloadSegment:</i>	zapisanie bloku danych do pamięci serwera. Długość bloku jest ograniczona do ok. 220 bajtów.
<i>TerminateDownloadSequence:</i>	zakończenie zapisu bloku danych.
<i>RequestDomainUpload:</i>	żądanie odczytu bloku danych. Wykonanie usługi przez program serwera informuje klienta o konieczności odczytu bloku danych z pamięci serwera.
<i>InitiateUploadSequence:</i>	przygotowanie odczytu danych. Wykonanie usługi powoduje przygotowanie serwera do transmisji bloku danych z jego pamięci do pamięci klienta.
<i>UploadSegment:</i>	odczytanie bloku danych z pamięci serwera. Długość bloku jest ograniczona do ok. 220 bajtów.
<i>TerminateUploadSequence:</i>	zakończenie odczytu bloku danych.

#### 4.3.3. OBSŁUGA PROGRAMÓW

<i>CreateProgramInvocation:</i>	utworzenie programu. Wykonanie usługi powoduje zdefiniowanie zawartości pamięci serwera jako ciała programu.
<i>DeleteProgramInvocation:</i>	usunięcie programu.
<i>Start:</i>	uruchomienie programu od początku.
<i>Stop:</i>	zawieszenie wykonania programu.
<i>Resume:</i>	wznowienie programu od miejsca zawieszenia.
<i>Reset:</i>	zerowanie stanu programu. Wykonanie usługi powoduje skasowanie zapamiętanego stanu zawieszzonego programu i ustawienie stanu początkowego.
<i>Kill:</i>	zablokowanie programu bez możliwości ponownego uruchomienia lub wznowienia.

#### 4.3.4. PRZEKAZYWANIE DANYCH

<i>Read:</i>	odczytanie wartości zmiennej.
<i>Write:</i>	zapisanie wartości zmiennej.
<i>ReadWithType:</i>	odczytanie wartości i typu zmiennej.
<i>WriteWithType:</i>	zapisanie wartości i typu zmiennej.
<i>PhysRead:</i>	odczytanie zawartości obiektu fizycznego.
<i>PhysWrite:</i>	zapisanie zawartości obiektu fizycznego.
<i>InformationReport:</i>	raport wartości zmiennej. Wykonanie usługi powoduje



	spontaniczne wysłanie raportu informującego o wartości zmiennej.
<i>InformationReportWithType:</i>	raport wartości zmiennej i jej typu. Wykonanie usługi powoduje spontaniczne wysłanie raportu informującego o wartości i typie zmiennej.
<i>DefineVariableList:</i>	utworzenie listy zmiennych.
<i>DeleteVariableList:</i>	usunięcie listy zmiennych.

#### 4.3.5. OBSŁUGA ZDARZEŃ

<i>EventNotification:</i>	zawiadomienie o zdarzeniu. Wykonanie usługi powoduje przekazanie wartości ustalonych danych do współpracującego programu.
<i>EventNotificationWithType:</i>	zawiadomienie o zdarzeniu. Wykonanie usługi powoduje przekazanie wartości i typu ustalonych danych do współpracującego programu.
<i>AcknowledgeEventNotification:</i>	potwierdzenie zdarzenia.
<i>AlterEventConditionMonitoring:</i>	włączenie/wyłączenie zawiadamiania o zdarzeniu.

#### 4.4. Wykonanie usług

Zakres usług, które mogą być wykonane w danej relacji komunikacyjnej, oraz sposób ich wykonania zależą od rodzaju współpracujących węzłów oraz typu relacji.

**Relacje MSCY i MSCY\_SI** są relacjami połączeniowymi. Wymiana danych między współpracującymi programami jest możliwa dopiero po nawiązaniu między nimi połączenia za pomocą usługi *Initiate*. Po nawiązaniu połączenia program wykonywany w węźle aktywnym może wywoływać usługi potwierdzone *Read* i *Write* oraz wszystkie usługi niepotwierdzone. Węzeł bierny może jedynie usunąć połączenie za pomocą usługi *Abort*.

Sposób wykonania usług można opisać na przykładzie usługi *Read*. Pierwsze wywołanie usługi przez program klienta uruchamia odpytywanie współpracującego węzła i przynosi do niego indeks obiektu danych. Indeks jest zapisywany w pamięci buforowej węzła, a żądane dane są przesyłane w sieci w następnym cyklu odpytywania, zapisywane w pamięci buforowej węzła klienta i przekazywane do programu, który wywołał usługę. Proces przekazywania danych w sieci i zapamiętywania ich aktualnej wartości w pamięci buforowej jest od tej chwili powtarzany permanentnie. Kolejne wywołania usługi *Read* przez program klienta powodują odczytanie danych zapisanych w pamięci buforowej jego węzła.

Sposób wykonania usług nie potwierdzonych jest analogiczny do sposobu wykonania

pierwszego wywołania usługi *Read*. Każde wywołanie usługi powoduje przekazanie danych w sieci i zapisanie ich w obszarze buforowym węzła odbierającego.

**Relacje MSAC i MSAC\_SI** są relacjami połączeniowymi. Wymiana danych między współpracującymi programami jest możliwa dopiero po nawiązaniu między nimi połączenia za pomocą usługi *Initiate*. Nawiązanie połączenia uruchamia proces permanentnego odpytywania współpracującego węzła biernego, dzięki czemu wykonywany w nim program może wywoływać usługi niepotwierdzone. Program wykonywany w węźle aktywnym może wywoływać wszystkie usługi potwierdzone i nie potwierdzone.

Wykonanie usług potwierdzonych przebiega podobnie do wykonania pierwszego wywołania usługi *Read* w relacji MSCY, tzn. każdemu wywołaniu usługi odpowiada odrębna para przesłań w sieci: żądanie-dane. Realizacja usług niepotwierdzonych przebiega podobnie do realizacji tych usług w relacji MSCY.

**Relacja MMAC** jest relacją połączeniową. Wymiana danych między współpracującymi programami jest możliwa dopiero po nawiązaniu między nimi połączenia za pomocą usługi *Initiate*. Programy wykonywane w obydwu węzłach mogą wywoływać wszystkie usługi potwierdzone i nie potwierdzone. Wykonanie usług potwierdzonych przebiega podobnie do wykonania pierwszego wywołania usługi *Read* w relacji MSCY, tzn. każdemu wywołaniu usługi odpowiada odrębna para przesłań w sieci: żądanie-dane. Realizacja usług nie potwierdzonych przebiega podobnie do realizacji tych usług w relacji MSCY.

**Relacje BRCT, MULT** są relacjami bezpołączeniowymi, w których dostępne są tylko usługi nie potwierdzone. Serwerami tych usług mogą być programy wykonywane we wszystkich węzłach (BRCT) lub w grupie węzłów sieci (MULT).

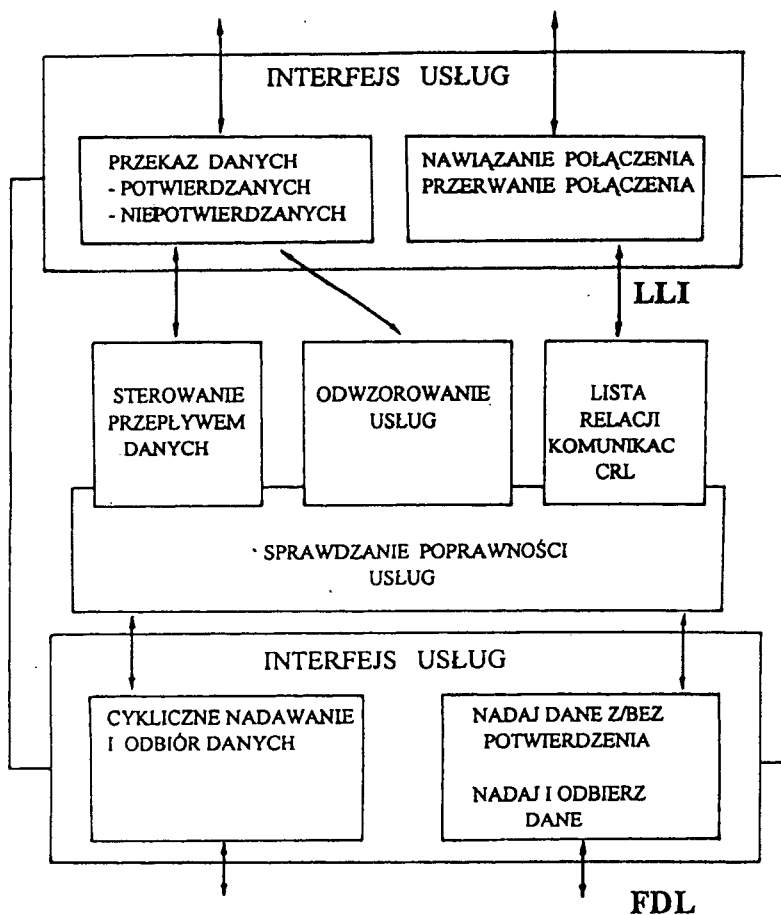
#### 4.5. Interfejs do warstw niższych (LLI)

Opisane powyżej realizacje usług poprzez ustanawianie relacji wykonuje interfejs LLI (Lower Layer Interface) – rys. 11. Interfejs tworzy odwzorowania warstwy 7. na usługi komunikacyjne warstwy 2. Dotyczy to sterowania przepływem danych, monitorowania połączeń i ich realizacji w warstwie 2. usług protokołu FMS, z uwzględnieniem różnic w działaniu poszczególnych urządzeń (master i slave).

Użytkownik komunikuje się z innymi procesami użytkowymi za pośrednictwem kanałów logicznych – relacji komunikacyjnych. Do wykonania poszczególnych usług FMS i usług zarządzania FMA7 interfejs LLI używa różnych typów relacji komunikacyjnych, różniących się mechanizmami, możliwościami przekazu danych i wymaganiami na reakcje stacji oddalonej.

**Atrybuty połączeń.** W relacjach komunikacyjnych połączeniowych występują atrybuty połączeń. Pozwalają one wyróżnić połączenia otwarte i implikowane. Przy połączeniach implikowanych partner komunikacyjny jest ustalony w czasie konfigurowania systemu i nie może być zmieniony w żadnej fazie trwającego połączenia. Zapobiega to dostępowi

nie autoryzowanemu. Przy połączeniach otwartych partner komunikacyjny jest bieżąco określany w fazie ustanawiania połączenia. Możliwość takich otwartych połączeń jest korzystna w prostych stacjach FMS, w których wszystkie relacje komunikacyjne są ustalone przez dostawcę. Jeżeli zostaną one zaprogramowane jako otwarte, to urządzenie może się komunikować ze wszystkimi innymi stacjami bez dodatkowego rekonfigurowania.



Rys. 11. Zadania interfejsu do warstw niższych (LLI)

Z kolei stacje slave mogą mieć pozwolenie na wysyłanie do przypisanej stacji master przesyłek w ramach nie potwierdzanych usług FMS tylko w przypadku kiedy relacja komunikacyjna master-slave ma przyznany atrybut "inicjatywa stacji slave". Dopuszczone są takie przesyłki z wysokim lub niskim priorytetem. Interfejs LLI realizuje powyższy mechanizm bez nadawania warstwie 2. stacji slave ogólnych uprawnień dostępu do medium. Taka opcja znajduje zastosowanie do wysyłania sygnałów alarmowych w prostych urządzeniach.

Przekazy cykliczne i acykliczne są realizowane w sieciach PROFIBUS-FMS. W przekazach cyklicznych tylko jedna zmienna jest cyklicznie czytana lub wpisywana przez dane połączenie. Dotyczy to usług *Read* i *Write*. Interfejs LLI realizuje specjalny, bardzo szybki protokół transmisji cyklicznych. Przy przekazach acyklicznych aplikacja zgłasza do kolejnych połączeń sporadycznie różne obiekty komunikacyjne.

Lista relacji komunikacyjnych (CRL) scala wszystkie relacje komunikacyjne danej stacji sieci PROFIBUS-FMS; zawiera opisy tych relacji. W przypadku prostych stacji lista CRL jest z góry zadana przez dostawcę. Dla stacji złożonych lista jest tworzona przy konfiguracji systemu i ładowana usługami zarządzania bądź lokalnie, bądź też poprzez sieć. Relacja komunikacyjna jest adresowana trzema adresami: adresem stacji oraz adresami portów (SAP) w warstwie 2. i w interfejsie LLI. W ten sposób lista CRL opisuje porządkowania między lokalnym adresem a adresowaniami w warstwach 2. i 7.

## 5. PROFIBUS-DP

Wersja PROFIBUS-DP, druga w kolejności powstawania, umożliwia dokonywanie bardzo szybkich przekazów danych na najniższym poziomie, tzn. czujników i elementów wykonawczych. W większości stosowanych w przemyśle rozwiązań sterowniki obsługujące ten poziom, np. programowalne sterowniki logiczne PLC, wymieniają dane z urządzeniami obiektowymi za pośrednictwem szybkich łączy szeregowych. Wersja PROFIBUS-DP pozwala wyeliminować takie indywidualne kanały łączności.

### 5.1. Ogólna charakterystyka

Najważniejsze dane techniczne wersji PROFIBUS-DP zestawiono poniżej w tabl. 3.

Obok zdolności przesyłowej, o wartości użytkowej danej sieci decydują także łatwość instalowania i serwisu, dobre rozwiązania diagnostyki i spełnienie różnorodnych wymagań użytkowników.

Wymiana danych na najniższym poziomie ma z reguły charakter cykliczny. Sterownik centralny (stacja master) odczytuje dane z urządzeń slave i wysyła do nich informacje wyjściowe. Bardzo ważnym wymaganiem jest jak najkrótszy czas cyklu magistrali, krótszy od cyklu programu sterownika, który obecnie najczęściej wynosi 10 ms.

Tabl. 3

Warstwa fizyczna	para skręcana, wg standardu EIA RS 485, lub światłowód szybkość transmisji od 9,6 kbit/s do 12 Mbit/s zasięg 100 m przy 12 Mbit/s, 200 m przy 1,5 Mbit/s zasięg można powiększać stosując powtarzacze
Dostęp do medium	protokół hybrydowy wg DIN 19245 cz. 1 wariant z jedną stacją master, lub z wielu stacjami master liczba stacji do 126
Tryby pracy	praca – cykliczny przekaz danych wejściowych i wyjściowych zerowanie – odczyt wejść i zerowanie wyjść stop – dopuszczone tylko funkcje w relacjach master-master
Funkcjonalność	cykliczny przekaz danych między stacjami master i slave; włączanie i wyłączanie stanu aktywności poszczególnych stacji DP-slave; sprawdzanie konfiguracji stacji DP-slave; diagnostyka, z 3 poziomami przesylek diagnostycznych; synchronizacja wejść lub/i wyjść wszystkich stacji DP-slave; przydzielanie adresów i konfigurowanie stacji DP-slave
Zabezpieczenie danych	z odległością Hamminga = 4 kontrola czasowa w stacjach DP-slave

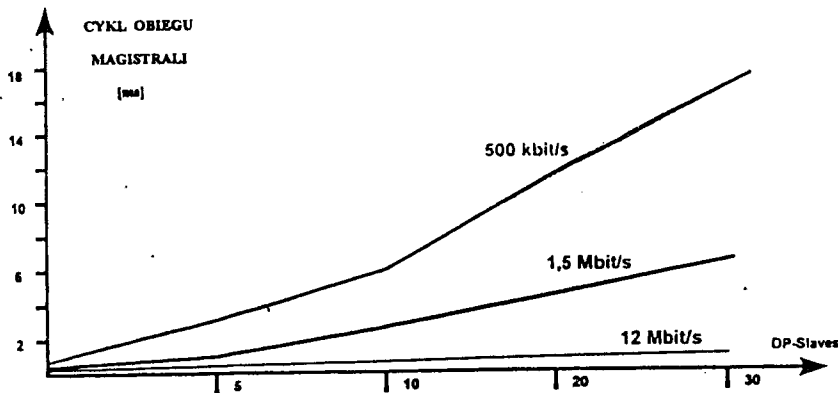
Przy szybkości 1,5 Mbit/s wersja PROFIBUS-DP potrzebuje na cykl przekazu 512 bitów informacji wejściowej i wyjściowej z 32 stacji ok. 6 ms. Zaś przy szybkości 12 Mbit/s poniżej 2 ms. Takie rezultaty spełniają aktualne wymagania na systemy o krótkim czasie reakcji. Na rys. 12 przedstawiono zależność czasu cyklu od liczby stacji i szybkości transmisji przy warunkach:

- każda stacja slave przekazuje po 2 bajty danych wejściowych i danych wyjściowych,
- Slave-Interval-Time = 200  $\mu$ s
- opóźnienie nadania następnej przesyłki przez stację inicjującą  $T_{sdi} = 37$
- opóźnienie nadania odpowiedzi przez stację odpowiadającą  $T_{sdr} = 11$

W stosunku do wersji PROFIBUS-FMS, znaczne zwiększenie szybkości uzyskuje się głównie w rezultacie stosowania usługi SDR (Send and Receive Data) w warstwie 2. Ta usługa wykonuje przekaz danych wejściowych i wyjściowych w pojedynczym cyklu przesyłki. Wprowadzenie szybkości transmisji 12 Mbit/s umożliwia uzyskanie o wiele większej wydajności sieci.

Rozwinięte funkcje diagnostyczne w PROFIBUS-DP pozwalają na bardzo szybką lokalizację usterek. Przesyłki diagnostyczne są transmitowane magistralą i zbierane w stacji master. Przesyłki te dotyczą trzech poziomów:

- diagnostyki stacji; przesyłka na tym poziomie dotyczy statusu całej stacji, np. zasilania,



Rys. 12. Zależność czasu cyklu od liczby stacji i szybkości transmisji w sieci PROFIBUS-DP z jedną stacją master

- diagnostyki modułu; przesyłki tego poziomu wskazują błąd w obrębie wskazanego modułu stacji,
- diagnostyki kanału; przesyłka wskazuje na uszkodzenie czy błąd w pojedynczym obwodzie wejściowym czy wyjściowym.

Zastosowana technika transmisji w postaci interfejsu RS-485 jest dogodna przy instalacji i serwisowaniu sieci. Układanie przewodu ze skrętka jest wyjątkowo proste. Magistrala dopuszcza dołączanie i odłączanie każdej ze stacji bez wpływu na pracę pozostałych. Można tworzyć, tj. montować i uruchamiać sieć stopniowo, krok po kroku. Późniejsze rozbudowy nie mają wpływu na konfigurację i na pracę stacji wcześniej zainstalowanych.

## 5.2. Konfiguracje sieci i typy urządzeń

W wersji PROFIBUS-DP można konfigurować sieci z jedną lub z wieli stacjami master. Łącznie dopuszcza się dołączenie do sieci do 126 stacji master i slave. Opis konfiguracji sieci zawiera: liczbę stacji, przyporządkowanie między adresami stacji a adresami we/wy, typy danych, formaty przesyłek diagnostycznych i parametry magistrali. W wersji PROFIBUS-DP występują trzy główne typy urządzeń.

### DP-Master Class 1 (DPM 1)

Ten typ stacji stosuje się jako sterownik centralny, który wymienia informacje ze stacjami slave, z reguły w zadanym cyklu. Typowymi urządzeniami DPM 1 są sterowniki programowalne PLC, sterowniki numeryczne CNC, sterowniki robotów RC.

### DP-Master Class 2 (DPM 2)

Stacje tego typu służą do programowania, konfigurowania i diagnostyki. W szczególności stacja DPM 2 jest niezbędna do uruchamiania systemu, w celu zadawania i wprowadzenia konfiguracji systemu.

## **DP-Slave A**

Stacja slave jest urządzeniem oddalonym, obiektowym, które zbiera informacje wejściowe i wydaje informacje wyjściowe. Stosuje się także urządzenia o funkcjach tylko wejścia lub tylko wyjścia. Najczęściej wejścia i wyjścia stosują standardowe sygnały obiektowe. Liczba sygnałów jest ograniczona sprzętowo do 246 bajtów, aczkolwiek często występuje silniejsze ograniczenie do 32 bajtów wejść i tyluż bajtów wyjść.

W sieci z jedną stacją master (rys. 13) – tylko jedna stacja, w tym przypadku sterownik PLC, jest aktywna. Taka konfiguracja zapewnia najkrótszy czas cyklu przekazu danych.

W sieci z wielu stacjami master (rys. 14) – dzielą one między sobą czas dostępu do magistrali. W rezultacie czas cyklu przekazu danych i obsługi wszystkich stacji slave jest dłuższy.

### **5.3. Funkcjonalność sieci PROFIBUS-DP**

#### **5.3.1. STANY SIECI**

Zachowanie się i praca sieci zależą od statusu stacji centralnej DPM1. Status ten może być wymuszony zarówno lokalnie, jak i zdalnie – ze stacji konfigurującej. Wymuszane są następujące stany:

**STOP** – nie ma przekazów danych między stacją centralną a stacjami typu slave,

**ZEROWANIE** – stacja centralna czyta informacje wejściowe ze stacji slave i utrzymuje sygnały wyjściowe w stanie nieaktywnym,

**PRACA** – stacja centralna realizuje przekazy; za pomocą sekwencji cyklicznych przesylek dane są odczytywane i wpisywane w stacjach slave.

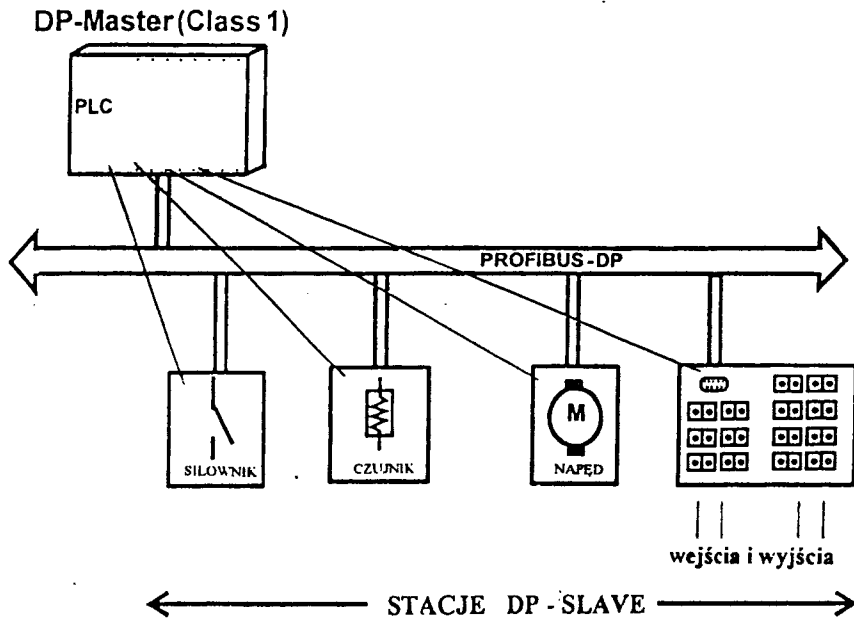
Stacja centralna wysyła swój status do wszystkich stacji slave, w przedziale czasu przeznaczonym na konfigurowanie, za pomocą komunikatów rozgłoszeniowych.

Istnieje opcja umożliwiająca wprowadzenie samoczynnej blokady wyjść stacji slave po wykryciu błędu systemu transmisji, za pomocą ustawienia dwuwartościowego parametru konfigurującego "Auto-Clear".

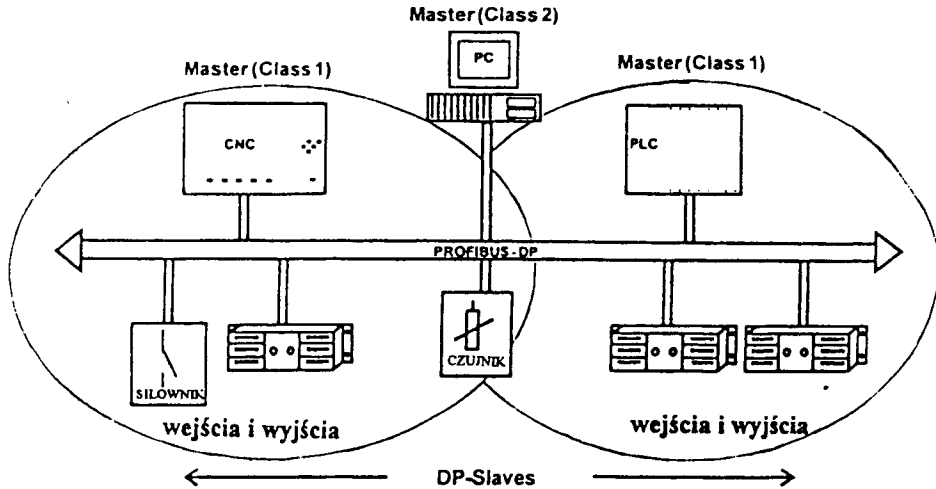
#### **5.3.2. PRZEKAZY DANYCH MIĘDZY STACJĄ CENTRALNĄ DPM 1 A STACJAMI SLAVE**

Przekaz danych użytkowych między stacją centralną a stacjami slave jest realizowany przez stację centralną w cyklu o zadanych parametrach. Podczas konfigurowania systemu określa się podporządkowanie stacji slave konkretnej stacji centralnej typu DPM 1, jak również udział poszczególnych stacji slave w cyklach przekazu danych.

Współpraca i współzależności między stacją centralną a podporządkowanymi jej stacjami slave są ustalane w fazach parametryzacji, konfigurowania i przekazu danych. W czasie parametryzacji i konfigurowania każda stacja slave porównuje swoje aktualne wartości z nadchodzącymi danymi konfigurującymi.



Rys. 13. Segment sieci PROFIBUS-DP z jedną stacją master



Rys. 14. Segment sieci PROFIBUS-DP z wieloma stacjami master



Testy okresowo sprawdzają dane parametryzujące i konfiguracyjne w stacjach slave. Ich pomyślny wynik jest warunkiem dalszej pracy stacji.

### 5.3.3. PRZEKAZY DANYCH MIĘDZY STACJĄ CENTRALNĄ DPM 1 A STACJĄ KONFIGURUJĄCĄ

Sieć PROFIBUS-DP umożliwia także przekazy w relacji master-master. Występują one między stacją centralną DPM 1 a urządzeniami programującymi i konfiguracyjnymi, typu DPM 2. W ten sposób następuje konfigurowanie stacji DPM 1 poprzez magistrale, jak również ładowanie programów.

Niezależnie od tego, relacje master-master umożliwiają w trakcie pracy dynamiczne zmienianie reżimu pracy stacji centralnej DPM 1, a także zezwalanie i zakazywanie przekazu danych w relacji do określonej stacji slave.

### 5.3.4. MODY SYNCHRONIZACJI I ZATRZYMANIA

Jako uzupełnienie automatycznego cyklicznego przekazu danych użytkowych można wysłać rozkazy ze stacji master do określonej stacji slave, grupy stacji lub do wszystkich stacji, korzystając z adresów grupowych i adresu rozgłoszeniowego. Takie rozkazy pozwalają wprowadzić stacje slave w tryb synchronizacji lub zatrzymania, co umożliwia dokładne powiązanie czasowe pracy stacji slave ze zdarzeniami zewnętrznymi.

Stacja slave od chwili otrzymania rozkazu synchronizacji SYNC wchodzi w stan synchronizacji, w którym utrzymuje swoje wyjścia obiektowe w stanie niezmiennym. Nadchodzące następnie informacje wyjściowe są w stacji zapamiętywane, ale nie są wydawane na wyjściach aż do otrzymania następnego rozkazu synchronizacji ze stacji centralnej. Dopiero wtedy stacja slave wydaje zapamiętane sygnały wyjściowe. Ponieważ rozkaz SYNC jest rozgłoszeniowy, można bardzo dokładnie zsynchronizować pracę urządzeń obiektowych sterowanych z wielu stacji slave.

Podobnie (lecz na wejścia wybranych stacji slave) działa rozkaz zatrzymania wejść FREEZE. Pierwszy rozkaz zamraża stan wejść, zaś drugi rozkaz powoduje dopiero odczytanie aktualnego stanu wejść.

### 5.3.5. DODATKOWE ZABEZPIECZENIA

Zabezpieczenie od skutków błędów parametryzacji i błędów transmisji jest realizowane przez kontrolę czasów realizacji cykli przekazu danych. W stacji centralnej oddzielne zegary (timery) kontrolują czas nadejścia bezbłędnej transmisji odpowiednio z każdej stacji slave. Podobnie w stacji slave zegar kontroluje okres nadejścia danych ze stacji centralnej. W systemach z wieloma stacjami master wprowadza się dodatkowo zabezpieczenie przed dostępem innych stacji master poza jedną, określoną przyporządkowaniem. Każda próba

nielegalnego dostępu jest rejestrowana, a użytkownik może określić dalszą sekwencję postępowania.

Silnym zabezpieczeniem przed błędami parametryzacji jest indywidualny numer identyfikacyjny *Ident Number* każdego urządzenia typu slave. Pozwala to stacji centralnej DPM 1 na porównywanie odczytanego numeru identyfikacyjnego stacji slave z jej numerem w dokumentacji konfiguracyjnej. Wymiana danych użytkowych jest utrzymywana tylko przy zgodności tych numerów. Numery identyfikacyjne przyznaje producentom organizacja PNO (PROFIBUS Nutzerorganisation).

## 6. WSPÓLPRACA URZĄDZEŃ PROFIBUS-FMS I PROFIBUS-DP

Możliwość tworzenia konfiguracji mieszanych, w których pracują urządzenia obu wersji: FMS i DP na jednej wspólnej magistrali, jest ważną cechą systemu PROFIBUS, powiększa jego uniwersalność i przydatność w wielu dziedzinach automatyki przemysłowej. W konfiguracjach mieszanych mogą być kojarzone zalety obu wersji w ramach jednej aplikacji. Współpraca jest możliwa na skutek stosowania w obu wersjach tych samych rozwiązań warstw 1. i 2. Zróżnicowanie funkcjonalne wersji następuje dopiero powyżej warstwy 2. za pomocą różnych usług dostępu warstwy aplikacyjnej.

Ponadto możliwe jest wykonywanie obu protokołów: FMS i DP przez jedno urządzenie, zwane wtedy urządzeniem złożonym. Pozwala to na zmniejszenie asortymentu produkowanych urządzeń, gdyż to samo urządzenie może pracować według protokołu DP, stosując przekazy cykliczne do obsługi obiektów szybkozmiennych, jak i zgodnie z protokołem FMS wówczas, gdy jest wymagana różnorodna funkcjonalność. Typowe usługi protokołu FMS mogą być wykorzystywane np. do ustawienia parametrów regulatora w fazie uruchamiania aplikacji (która to faza nie jest czasowo uwarunkowana), a następnie ten sam regulator może stosować szybki protokół DP w fazie pracy. Nie ma dodatkowych ograniczeń ilościowych przy konfigurowaniu systemów mieszanych, które to ograniczenia wynikałyby ze współpracy dwóch wersji PROFIBUS-a na jednej magistrali.

## 7. WARIANTY IMPLEMENTACJI

Możliwe są różne metody implementacji protokołu PROFIBUS, przy czym wybór zależy głównie od szybkości przesyłania. Przy małych szybkościach transmisji implementacja jest zasadniczo możliwa w każdym urządzeniu mikroprocesorowym, bez stosowania specjalizowanych urządzeń.

Implementacja wspólna protokołu komunikacyjnego i programu użytkowego na jednym typowym mikroprocesorze jest najtańsza. Jest to możliwe dla prostszych zadań, do szyb-

kości transmisji 500 kbit/s, pod dodatkowym warunkiem, że program użytkowy może być okresowo przerywany przez funkcje komunikacyjne.

Implementacja na jednym specjalizowanym układzie scalonym typu ASIC (*Application Specific Integrated Circuit*), np. LSPM2 firmy Siemens, jest obecnie możliwa tylko przy najprostszej wersji protokołu, tj. w stacji DP-slave. Uzyskuje się zarówno minimalny koszt dołączenia do sieci, jak i bardzo szybką obsługę.

Typowa implementacja, nie ograniczająca funkcji (obsługująca stacje slave i master, jak również stosująca protokoły DP i FMS), wykorzystuje do realizacji zadań warstw 1. i 2. dodatkowy specjalizowany układ scalony ASIC lub część komunikacyjną mikrokontrolera. Natomiast zadania warstwy 7. wykonuje mikroprocesor. Przykładami mogą być kombinacje: Siemens SPC ASIC + mikroprocesor NEC V25 albo Motorola 68302 + 68360, produkowane jako nakładki do pakietu jednostki centralnej sterownika.

Najbardziej wydajna, ale i najdroższa jest implementacja autonomiczna w postaci odrębnego procesora komunikacyjnego (karty). Jest stosowana w dużych stacjach centralnych o znacznych zadaniach i obciążeniu czasowym. W minimalnym stopniu obciąża jednostkę centralną stacji zadaniami komunikacyjnymi.

## 8. PRÓBA OCENY

Potocznie, według wielu autorów, PROFIBUS jest uważany za jedno z lepszych rozwiązań otwartej sieci miejscowej, za stosunkowo tanią sieć miejscową (*fieldbus*), przeznaczoną do wykorzystania w różnych systemach sterowania i nadzoru.

Na podstawie analiz i porównań przeprowadzonych w Instytucie można podjąć próbę bardziej szczegółowej oceny, uwzględniającej szereg czynników.

### Proces przygotowania

Na jakość sieci PROFIBUS miał pozytywny wpływ zorganizowany, instytucjonalny i wieloetapowy proces powstawania. Warto zwrócić uwagę na takie czynniki, jak:

- skrupulatne wyszukanie i wykorzystanie pozytywnych cech i rozwiązań zastosowanych we wcześniejszych produktach sieciowych, szczególnie w standaryzowanych sieciach do stosowania w przemyśle, jak IEEE 802.4 i Bitbus,
- bardzo wnikliwe rozważenie wad dotychczasowych rozwiązań i widoczne starania usunięcia tych wad, skuteczne szczególnie w zapewnieniu szybszej obsługi procesów krytycznych czasowo, natomiast mało skuteczne w deklarowanych próbach uproszczenia protokołu,
- uwzględnienie w nowych wersjach DP i PA sporej liczby ważnych i niedawno formułowanych, dodatkowych wymagań użytkowników i w konsekwencji wprowadzenie

wielu dodatkowych rozwiązań i opcji, co podnosi walory użytkowe, ale wtórnie komplikuje system,

- konsekwentne doskonalenie i rozwijanie rozwiązań,
- powołanie, uruchomienie i doskonalenie instytucjonalnych form dbałości o jakość i rozwój systemu, jak: certyfikacja wyrobów, akredytowane laboratoria, system testowania współpracy i kompatybilności.

### **Struktura komunikacyjna sieci**

Węzłami sieci mogą być proste urządzenia wejścia-wyjścia, takie jak czujniki lub elementy wykonawcze, albo inteligentne sterowniki programowalne, sterowniki numeryczne lub lokalne stacje operatorskie. Zgodnie z wymaganiami tej dziedziny zastosowań, sieć umożliwi efektywne przekazywanie wielu krótkich wiadomości, a sposób organizacji pracy sieci gwarantuje dotrzymanie deterministycznego czasu przesłania najważniejszych danych.

Programy użytkowe, wykonywane w węzłach sieci PROFIBUS, komunikują się ze sobą za pomocą usług warstwy aplikacyjnej, umożliwiających przekazywanie danych poprzez relacje komunikacyjne, łączące współpracujące programy. Zestaw relacji komunikacyjnych określa logiczną strukturę sieci i jednoznacznie wskazuje porty sieciowe różnych węzłów, między którymi możliwa jest wymiana danych. Wszystkie relacje komunikacyjne są definiowane statycznie, podczas konfiguracji sieci. Numer relacji komunikacyjnej jest parametrem wywołania usługi, a atrybuty relacji określają zarówno adres współpracującego portu sieciowego, jak i sposób realizacji usługi.

### **Narzędzia komunikacji**

Podstawowymi usługami warstwy aplikacyjnej są usługi potwierdzane, które umożliwiają niezawodne przekazywanie danych przez połączenia otwarte w relacji komunikacyjnej, łączącej porty współpracujących programów. Treścią przekazywanych wiadomości są wartości z góry określonych zmiennych. Zależnie od rodzaju relacji komunikacyjnej sposób realizacji usług jest diametralnie różny.

Relacje *MSCY* i *MSCY\_SI* są sieciową implementacją komunikacji przez zmienne wspólne; wykonanie usługi tworzy w węźle klienta kopię zmiennej serwera, a oprogramowanie komunikacyjne automatycznie zapewnia zgodność kopii z oryginałem.

Relacje *MSAC* i *MSAC\_SI* są sieciową implementacją komunikacji przez wiadomości; wykonanie usługi powoduje przekazanie wiadomości wysłanej przez program klienta i odebranie odpowiedzi od programu serwera.

### **Funkcjonalność**

Sieć PROFIBUS w obecnej, rozszerzonej postaci, to jest rozpatrywana łącznie w trzech wersjach: FMS, DP, PA, spełnia zdecydowaną większość wymagań na przemysłową sieć miejscową.

W szczególności wersja PROFIBUS-DP jest bardzo specjalistycznym produktem, kumulującym wieloletnie doświadczenie i potrzeby niemieckiego przemysłu, przede wszystkim maszynowego. Wprowadzono do tej wersji wiele nowych rozwiązań zwiększających funkcjonalność, bądź polepszających współpracę urządzeń.

Sieć PROFIBUS spełnia zarazem wymagania na sieć miejscową, jak i na przemysłową sieć lokalną – do obsługi procesów wytwarzania. Wersję FMS można kwalifikować do sieci lokalnych, zaś wersja DP zalicza się bezsprzecznie do sieci miejscowych.

Ponieważ urządzenia i protokoły wersji FMS i DP mają identyczne rozwiązania warstw 1. i 2., i mogą pracować wspólnie na tych samych segmentach magistrali, PROFIBUS integralnie kojarzy w sobie poziom sieci lokalnej i miejscowej, bez konieczności stosowania jakichkolwiek środków sprzętowych czy programowych do powiązania tych poziomów.

### **Otwartość**

PROFIBUS jest otwartym, nie firmowym, nie zastrzeżonym i znormalizowanym protokołem sieciowym. Cechy te zapewniają kompatybilność urządzeń różnych producentów, przez co produkty różnych firm współpracują wzajemnie ze sobą. Wymiana danych następuje między nimi bez dodatkowych interfejsów. Wszyscy dostawcy spełniają wymogi normy DIN 19245, bądź równoważnego projektu EN 50710. Tak definiowana otwartość protokołu PROFIBUS umożliwia integratorom i użytkownikom opracowywanie i stosowanie własnych fragmentów rozwiązań.

Zarazem przyjęta filozofia protokołu, spełniająca postulaty modelu odniesienia sieci otwartych, umożliwia względnie łatwe sprzężenie sieci PROFIBUS z innymi sieciami występującymi w przedsiębiorstwach przemysłowych.

### **Sytuacja rynkowa**

Sieć PROFIBUS ma już ugruntowaną pozycję na rynku. Duża liczba wyrobów (ponad 450 w 1995 r.) oferowana przez bardzo wielu dostawców (obecnie ponad 150) gwarantuje niezależność od dostawcy. Ocenia się, że już w 1994 r. udział produktów PROFIBUS w całości obrotów sieciowymi systemami automatyki w Niemczech osiągnął 38 %. Wśród dostawców produktów standardu PROFIBUS są chyba wszystkie największe firmy produkujące sprzęt automatyki w Niemczech. Umożliwia to projektantom systemów i użytkownikom wybór urządzeń i optymalne dopasowanie do konkretnego projektu. Pozwala także na kontynuowanie wyposażania zakładu przemysłowego u dotychczasowego dostawcy.

Urządzenia sieci PROFIBUS można uważać za dobrze wypróbowane w praktyce przemysłowej. Istnieje już ogromna liczba zrealizowanych aplikacji w różnych dziedzinach przemysłu – do automatyzacji produkcji, wytwarzania i sterowania napędami.

### **System jakości i pomoc użytkownikom**

Institucje i firmy tworzące sieć i sponsorujące jej rozwój powołały organizację użytkowników. Organizacja Użytkowników sieci PROFIBUS PNO (*PROFIBUS Nutzeror-*

ganisation) i jej organizacje afiliowane w różnych krajach reprezentują wszystkie strony uczestniczące w tym systemie – użytkowników, producentów, firmy konsultacyjne i projektowe. One wspólnie tworzą rynek produktów standardu PROFIBUS, stwarzają warunki do współpracy i wymiany doświadczeń.

PNO utworzyła system testowania wyrobów PROFIBUS na zgodność i współpracę przez akredytowane laboratoria. Certyfikaty przyznawane po testowaniu gwarantują nabywcom wysoką jakość i funkcjonalność. Walory te są gwarantowane także w instalacjach mieszanych, stosujących produkty pochodzące od różnych wytwórców.

Organizacja PNO jest zorientowana także na koordynację dalszego rozwoju systemu. Produkty standardu PROFIBUS są tworzone przez liczne firmy, a ich wzajemna współpraca, teraz głównie na płaszczyźnie organizacji, zapewnia skoordynowany rozwój.

Ostatnio, na początku 1996 r., opublikowano informację o powstaniu organizacji PROFIBUS International (PI). Ma ona reprezentować już ponad 400 przedsiębiorstw w różnych krajach i zajmować się, w skali międzynarodowej, opracowywaniem strategii promocji, normalizacją, współpracą z innymi organizacjami, koordynacją marketingu i regionalnych organizacji użytkowników, jak również certyfikacją i rozwojem technologii.

## LITERATURA

1. Bender K.: PROFIBUS The Fieldbus for Industrial Automation. Cambridge 1993 The University Press.
2. Deisenroth H. i in.: Feldbusgesteuerter Motorenprufstand an der FH Russelsheim. Antriebstechnik 1995 nr 10 s. 48.
3. DIN 19245 Part 1, Part 2. PNO e.V. Karlsruhe 1991
4. DIN 19245 Part 3. PNO e.V. Karlsruhe 1993
5. Entwurf DIN 19245, Teil 4, Version 1.1, PNO e.V. Karlsruhe, 1995
6. Goddertz J.: PROFIBUS. Kloeckner-Moeller Ltd. 1992
7. Hammer G.: Die Übertragungstechnik (Physical Layer) des PROFIBUS-PA. Nurnberg 1995 SIEMENS A.G.
8. Homburg D., Reiff E.C.: Lichtbus ersetzt Kabel. Optische Datenübertragung am Profibus. Elektroautomation 1995 nr 9 s. 26.
9. Lange N., Christensen O.: Genau darauf zugeschnitten. ASIC-Controller für Profibus-Master Losungen. Elektronik 1995 nr 7 s. 89.
10. prEN 50170 Final draft. Fieldbus. CENELEC Brussels 1995
11. PROFIBUS PUBLIC Technical articles and publications about PROFIBUS in the international Press. Karlsruhe 1996 PNO e.V.
12. PROFIBUS Technical Description. PROFIBUS Nutzerorganisation (PNO) e.V. Karlsruhe 1995. PNO e.V.

13. Richtlinien PROFIBUS-PA, Protokoll Spezifikation, Art. Nr. 2.052 PNO e.V. Karlsruhe 1995 PNO e.V.
14. Sacha K., Sikorski T., Toczyłowski E.: Opracowanie założeń budowy modelu instalacji CIM integrującej różnorodne platformy sprzętowo-programowe przy wykorzystaniu sieci LAN i przemysłowych sieci miejscowych. Raport nr 95-18 Instytutu Automatyki i Informatyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej. 1995
15. Syrczyński A., Stańczak W., Partyka M.: Funkcje komunikacyjne zgodne z 7-warstwowym modelem ISO/OSI w sieci PROFIBUS. Sprawozdanie z pracy n-b. nr arch. 7205. PIAP 1995.