

## Laboratorium systemów sieciowych PIAP

*Przedstawiono strukturę instalacji sieciowej w PIAP i wyposażenie poszczególnych stacji, w tym wykorzystany sprzęt i oprogramowanie. Omówiono współpracę sprzętu i oprogramowania pochodzącego od różnych dostawców i producentów, opisano także połączenia wiążące segmenty sieci realizujące odmienne standardy. Przedstawiono perspektywy wykorzystania instalacji do dalszych badań oraz do szkoleń mających na celu promocję wykorzystania otwartych systemów sieciowych w przemyśle krajowym.*

### Networking systems laboratory in PIAP

*There is presented the structure of networking installation in PIAP and the equipment situated in each network station, including hardware and software. Cooperation between hardware and software delivered by different vendors and or producers is pointed out, moreover connections between segments of distinct networking standards are described. The application of networking installation in PIAP for research and training courses, to promote open communication systems in Polish industry is presented.*

#### 1. WSTĘP

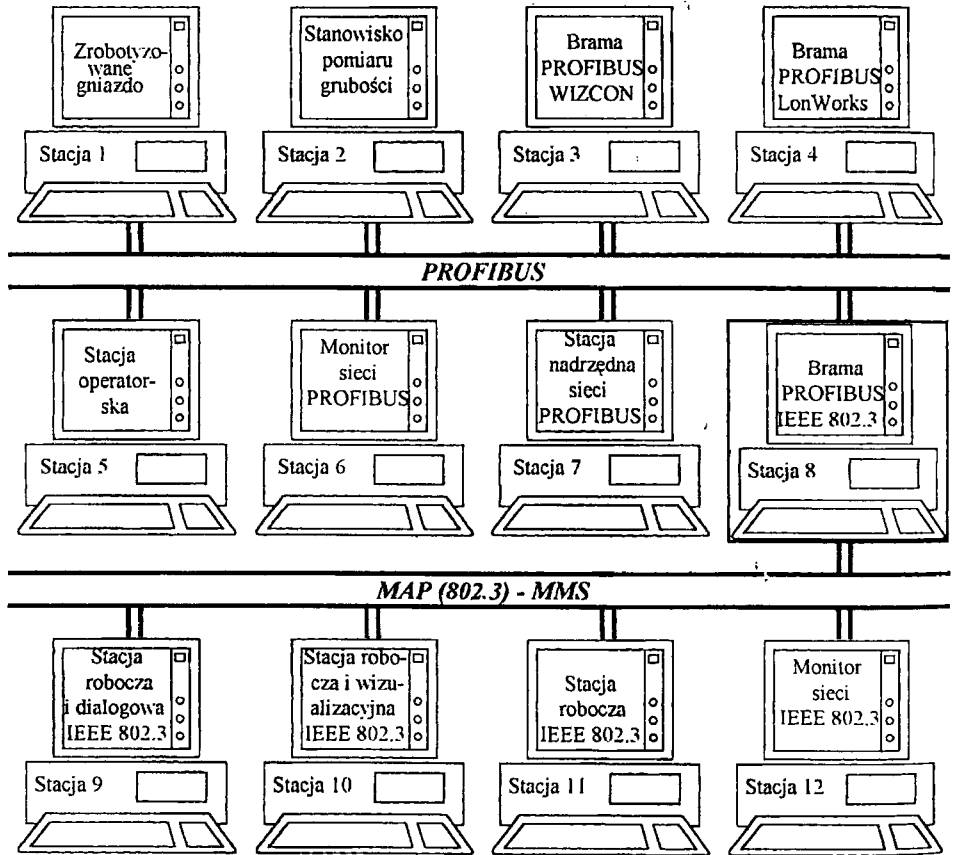
Laboratorium Systemów Sieciowych (LSS) PIAP powstało w latach 1995 - 1997 podczas realizacji projektu badawczego zamawianego PBZ-31-05 pn. "Sieciowe systemy komunikacyjne integrujące automatyzację wytwarzania". Jednym z celów projektu było zarekomendowanie polskim przedsiębiorstwom przemysłowym otwartego systemu komunikacyjnego wiążącego jednostki organizacyjne przedsiębiorstwa oraz zarządzającego jego sferą produkcji. Przez otwartość systemu komunikacyjnego rozumie się tutaj możliwość współdziałania w ramach jednej sieci różnorodnego sprzętu i oprogramowania pochodzącego od szerokiej gamy producentów i dostawców. W części LSS (por. segment IEEE 802.4) wykorzystano również wyniki grantu "Badania modelu wirtualnego urządzenia wytwórczego VMD zorientowanego na rodzinę robotów URP" (umowa z KBN nr PB 879/T11/95/08).

#### 2. STRUKTURA SIECI W LABORATORIUM SYSTEMÓW SIECIOWYCH PIAP

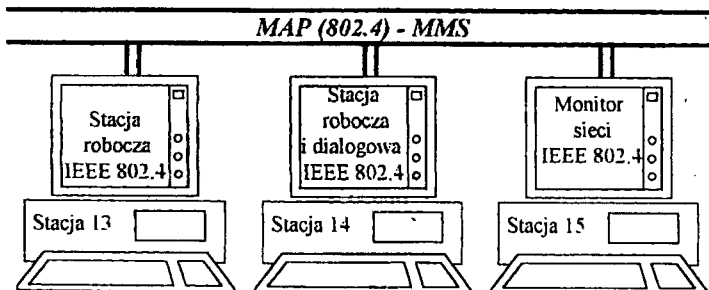
Sieć w LSS zorganizowana jest hierarchicznie. Na najniższym szczeblu hierarchii umieszczono sieci miejscowe LonWorks i MODBUS - RTU. Służą one do realizacji szybkiej, bezpośredniej komunikacji z urządzeniami obiektowymi.

Pośredni szczebel hierarchii stanowi segment sieci PROFIBUS z protokołem FMS (Fieldbus Message Specification). Wiąże ona sieci miejscowe z najwyższym szczeblem hierarchii. Ponadto dociera ona do stanowisk produkcyjnych i ich makiet takich jak gniazdo zrobotyzowane i laserowe stanowisko pomiarowe.

Najwyższy stopień hierarchii tworzy sieć typu MAP z protokołem MMS (Manufacturing Message Specification). Jej zadaniem jest wizualizacja wszystkich przebiegu procesów zachodzących na poziomach niższych oraz ograniczona ingerencja w przebieg wspomnianych procesów.



Rys. 1. Schemat ideowy segmentu sieci PROFIBUS i segmentu sieci MAP (802.3) - MMS.



Rys. 2. Schemat ideowy segmentu sieci MAP (802.4) - MMS.

Sieci miejscowe (LonWorks i MODBUS - RTU) w LSS PIAP były szczegółowo prezentowane w zeszytowanych materiałach konferencyjnych [1, 3] i dlatego pominięto tu ich schematy i opisy szczegółowe.

### 3. WYPOSAŻENIE SEGMENTÓW SIECI

Wszystkie stacje segmentów sieci PROFIBUS, MAP (802.3) - MMS i MAP (802.4) - MMS zrealizowano przy użyciu komputerów typu IBM-PC, wersja 486 i Pentium (jedyne odstępstwo to stacja 14 z IBM-PC/386DX), przyłączonych do segmentu poprzez odpowiednią kartę sieciową. W większości stacji rezyduje system operacyjny MS-DOS 6.20 lub 6.22 oraz MS-Windows 3.11 PL. Wyjątek stanowią stacje o numerach 5, 8 i 11, w których zainstalowano OS/2 Warp Connect v. 3. Spowodowane to było wymogami oprogramowania aplikacyjnego, wykorzystywanego w tych stacjach.

#### 3.1. Segment PROFIBUS

Segment sieci PROFIBUS ma topologię szynową; do magistrali dołączono 8 stacji (por. rys. 1). Poszczególne stacje segmentu wyposażone są w 3 rodzaje kart firmy SOFTING:

- PROFI-IF-PC/AT-A1 kompatybilne z CP5412-A1 firmy SIEMENS - w stacjach 1, 4 i 8,
- PROFI-IF-PC/AT-A2 kompatybilne z CP5412A2 firmy SIEMENS - w stacjach 2, 3 i 7,
- PROFI-MON-HW-12 (specjalizowana karta monitora sieci PROFIBUS) - w stacji 6

i w kartę C1F12 firmy Hilscher - stacja 5. Połączenia magistrali realizowane są kablem ekranowanym o parach skręconych, zgodnym z normą DIN 19245 cz. 1 (analog. EIA RS-485). Do celów badań przyjęto podstawową, najczęściej stosowaną szybkość transmisji 500 kbit/s.

Oprogramowanie aplikacyjne stacji 1 i 4 utworzono wykorzystując pakiet "PROFI-DOS-DMK, PROFIBUS Docu- and Media Kit" i interfejs PBFW.LAD (ładowany przy pomocy CPLOADER.BIN) firmy SOFTING. Oprogramowanie aplikacyjne stacji 2, 3 i 7 utworzono wykorzystując pakiet "PROFI-IF, PROFIBUS Application Program Interface V5.01" i interfejs PBFW\_A2.LAD (ładowany przy pomocy LOAD\_A2.BIN) firmy SOFTING. Oprogramowanie aplikacyjne stacji 5 utworzono wykorzystując pakiet "WIZCON/5" model WIZ-ILW oraz interfejs sieciowy firmy Hilscher. W stacji 6 rezyduje specjalizowane oprogramowanie monitora sieci PROFIBUS -PBUSMON.EXE (wraz z PBUSMON.HLP i PBUSMON.INI) firmy SOFTING. Opis oprogramowania stacji 8 zamieszczono w p. 3.4. 3.

Warto zauważyć, że w segmencie PROFIBUS pracuje sprzęt i oprogramowanie kilku producentów. Ponadto we wrześniu 1997 r. przeprowadzono eksperyment z udziałem Instytutu Technologii Maszyn i Automatyki Politechniki Wrocławskiej, podczas którego do segmentu PROFIBUS w LSS dołączono sterowniki SMART produkcji PEP Modular Computers i sprawdzono działanie sieci. Wyniki eksperymentu były pomyślne - podczas wielogodzinnego seansu z udziałem monitora sieci nie stwierdzono wadliwego działania sieci.

#### 3.2. Segment MAP (802.3) - MMS

Segment sieci MAP (802.3) - MMS składa się z 5 stacji (por. rys. 1). Stacje o numerach 9, 10 i 11 służą do wizualizacji przebiegu procesów przemysłowych. Dane dotyczące wspomnianych procesów napływają z segmentu sieci PROFIBUS za pośrednictwem stacji nr 8 - bramy PROFIBUS-IEEE 802.3. Zestaw uzupełnia monitor sieci IEEE 802.3, służący do śledzenia

przebiegu procesów transmisyjnych, ich rejestracji i badania oraz nadzoru prawidłowości działania całego segmentu.

Stacje segmentu wyposażone są w karty firmy 3COM z wejściem/wyjściem BNC. Prędkość transmisji wynosi 10 Mbit/s. Połączenia realizowane są kablem koncentrycznym "cienki Ethernet".

Oprogramowanie użytkowe stacji o numerach 9 i 11 składa się z interfejsu programowego (driver) karty sieciowej - firmowego interfejsu 3COM, stosu (stack) sieciowego - SISCO OSI Stack for Windows-132-018 v. 2.30 oraz interfejsu użytkownika utworzonego przy wykorzystaniu pakietu MMS-EASE for Windows-132-018 v. 6.09 firmy SISCO. Oprogramowanie użytkowe stacji 10 to interfejs firmy 3COM, stos sieciowy SISCO OSI STACK for OS/2 2.x oraz interfejs użytkownika skonstruowany z modułów zawartych w pakiecie EasyMAP v. 4.0 firmy WM-data A/S. W przypadku monitora sieci IEEE 802.3 (stacja 12) mamy do czynienia jedynie z interfejsem programowym karty sieciowej - firmowym driverem 3COM oraz oprogramowaniem monitorującym - Lan Desk Traffic Analyst v. 2.0 firmy Intel.

Warto zauważyć, że w segmencie PROFIBUS poprawnie współpracuje sprzęt i oprogramowanie 3 producentów (SISCO, WM-data A/S i Intel).

### 3.3. Segment MAP (802.4) - MMS

Stacje segmentu wyposażono w karty sieciowe LP - 25 MAP Controller Board firmy AEG/Modicon/Computrol sprzężone z modemem AEG/Modicon/Computrol BK - 4 CM Carrierband Modem. Prędkość transmisji wynosi 5 Mbit/s. Połączenia realizowane są kablem koncentrycznym głównym RG 11 i kablami koncentrycznymi odgałęzień stacyjnych RG 6, połączonymi przez rozgałęźniki i zaopatrzonymi w terminatory.

Oprogramowanie użytkowe stacji o numerach 13 i 14 zostało utworzone przy wykorzystaniu dwu pakietów firmy AEG/Modicon/Computrol:

- DOS ISOcomm MAP 3.0 (802.4) Release 2.3 Stack for MS-DOS Software (SPA-35B). Pakiet zawiera interfejs karty sieciowej i stos sieciowy. W jego skład wchodzi oprogramowanie nadzorujące działanie sterownika specjalizowanej karty sieciowej: MAPSMC.EXE, MAPGO.EXE, PC8024.IMG i sterownik karty ICPDOSDR.EXE. MAPSMC.EXE służy do konfigurowania parametrów karty (w tym również parametrów segmentu sieci). Są one potem przechowywane w pliku PC8024.IMG. Z MAPSMC.EXE można także wywoływać MAPGO.EXE. Zadaniem MAPGO.EXE jest inicjalizacja karty i załadowania parametrów z PC8024.IMG do pamięci NVRAM (Non Volatile RAM) karty sterownika. MAPGO.EXE służy także do zresetowania karty. Sterownik karty ICPDOSDR.EXE realizuje protokoły warstw 1-6 modelu ISO/OSI i część warstwy 7, która jest niezależna od oprogramowania aplikacyjnego.
- MMS MAP 3.0 ACSE Model Release 2.3 on MS-DOS Software SPM-35B. Pakiet został opracowany przy wykorzystaniu licencji firmy SISCO. Jądro MMS oraz interfejs użytkownika są zintegrowane i stanowią jeden program, który konstruuje się wykorzystując pakiet MMS-MAP 3.0.

W stacji 15 (monitor sieci IEEE 802.4) posadowiono NMP-35A Network Monitor Software for MS-DOS/Windows 3, #802.3/802.4 Ver 1.1, firmy AEG/Modicon/Computrol.

### 3.4. Połączenia międzysegmentowe

#### 3.4.1. Brama PROFIBUS - LonWorks

Brama PROFIBUS - LonWorks ma za zadanie łączenie sieci LonWorks z siecią PROFIBUS - FMS. Od strony sieci PROFIBUS jest ona wyposażona w kartę PROFI-IF-PC/AT-A1-firmy SOFTING, zaś od strony sieci LonWorks - w LonWorks PCLTA 73100 firmy ECHELON. Interfejs programowy od strony sieci PROFIBUS stanowi PBFW.LAD (ładowany przy pomocy CPLOADER.BIN) -firmy SOFTING, od strony sieci LonWorks - oprogramowanie firmowe ECHELON. Oprogramowanie aplikacyjne bramy jest produktem krajowym (firma HELP we Wrocławiu) i zostało utworzone z wykorzystaniem pakietu "PROFI-DOS-DMK, PROFIBUS Docu- and Media Kit" firmy SOFTING oraz oprogramowania firmowego ECHELON. Opis działania bramy można znaleźć w [5].

#### 3.4.2. Brama PROFIBUS - MODBUS (stacja 5)

Brama PROFIBUS - MODBUS ma za zadanie łączenie sieci MODBUS z siecią PROFIBUS - FMS. Od strony sieci PROFIBUS jest ona wyposażona w kartę C1F12 firmy Hilscher, zaś od strony sieci MODBUS - poprzez oprogramowanie sterowników MRP - 42 C oraz kartę AX 4285. Oprogramowanie aplikacyjne bramy jest produktem krajowym (firma HELP we Wrocławiu).

#### 3.4.3. Brama PROFIBUS - IEEE 802.3

Brama PROFIBUS - IEEE 802.3 ma za zadanie łączenie sieci MAP (802.3) - MMS z siecią PROFIBUS - FMS. Od strony sieci PROFIBUS jest ona wyposażona w kartę PROFI-IF-PC/AT-A1-firmy SOFTING, zaś od strony sieci MAP (802.3) - MMS w kartę firmy 3COM. Brama jest wyposażona w specjalizowane oprogramowanie firmy WM-data A/S. Opis działania bramy można znaleźć w [5].

## 4. STACJE SPECJALIZOWANE

Zrobotyzowane gniazdo (stacja 1) jest wyposażone w:

- 2 roboty URP-10 ze sterownikiem URP produkcji PIAP,
- transporter taśmowy,
- sterownik C-60K produkcji OMRON, wykonujący sekwencyjne sterowanie pracą poszczególnych urządzeń gniazda,
- komputer PC - sterownik nadrzędny gniazda.

Zrobotyzowane gniazdo jest przystosowane do typowych zadań manipulacyjnych, występujących często w zakładach przemysłowych, na przykład do przekładania różnego kształtu detali w zamkniętym obiegu, składającym się z ruchu transportera, przeniesienia detalu przez robot z transportera na paletę, przeniesienia detalu przez drugi robot z palety na transporter i dalej powtarzania tego cyklu.

Sterownik nadrzędny gniazda jest zrealizowany na komputerze PC, który równocześnie pełni rolę węzła sieci komputerowej w LSS (stacja 1). Komputer ten komunikuje się poprzez sieć PROFIBUS z innymi stacjami sieci. Z drugiej strony poprzez kanały szeregowo typu RS232 wymienia informacje z robotami i sterownikiem sekwencyjnym gniazda.

Jako sterownik sekwencyjny zarządzający pracą wszystkich urządzeń gniazda został wykorzystany sterownik logiczny C-60K firmy OMRON. Sterownik ten komunikuje się z robotami poprzez wejścia/wyjścia dwustanowe. Transporter również jest sterowany sygnałami dwustanowymi ze sterownika C-60K.

Oba roboty wyposażone są w chwytaki pneumatyczne dostosowane do chwytania kilku różnego kształtu detali (walec, sześcián, prostopadłościán). W zasięgu robotów znajdują się palety do detali. Oba roboty mają możliwość zdalnego uruchamiania programów użytkowych (START PROGRAMU) i zatrzymywania programów użytkowych (STOP PROGRAMU). Oba roboty mają też możliwość sygnalizowania na zewnątrz stanu pracy w trybie automatycznego wykonywania programu. Sygnały są obsługiwane przez sterownik sekwencyjny. Oba roboty mają zainstalowane łącze szeregowe oraz wejścia i wyjścia dwustanowe. Łączem szeregowym odbywa się komunikacja ze sterownikiem nadrzędnym gniazda, a sygnały dwustanowe, oprócz sygnalizowanej wyżej współpracy ze sterownikiem sekwencyjnym, są wykorzystane do włączania dodatkowych urządzeń zewnętrznych, np. lampki, sygnały dźwiękowe, dodatkowy osprzęt.

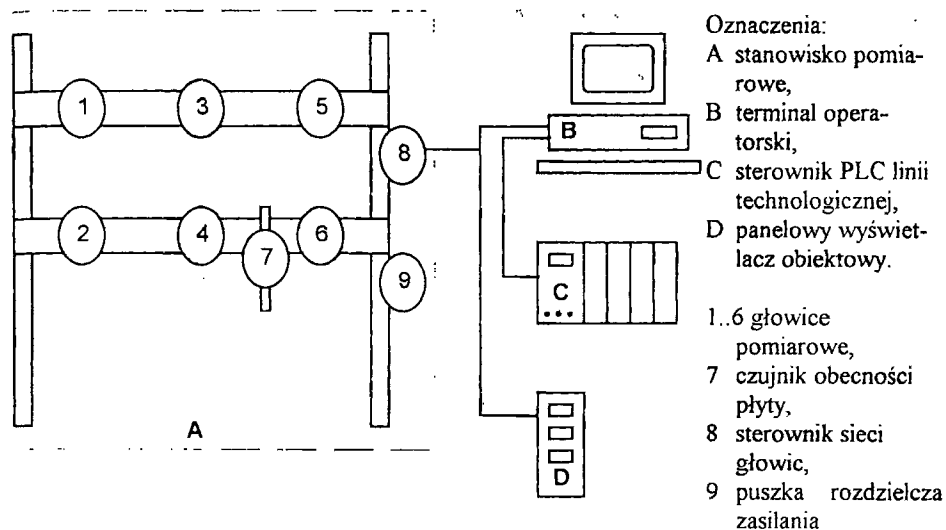
Transporter jest sterowany sygnałami dwustanowymi ze sterownika C-60K.

Stanowisko pomiaru grubości (stacja 2) służy do bezdotykowego pomiaru grubości płyt wiórowych, opracowanego w PIAP. PIAP podjął wdrażanie takich systemów w zakładach przemysłowych.

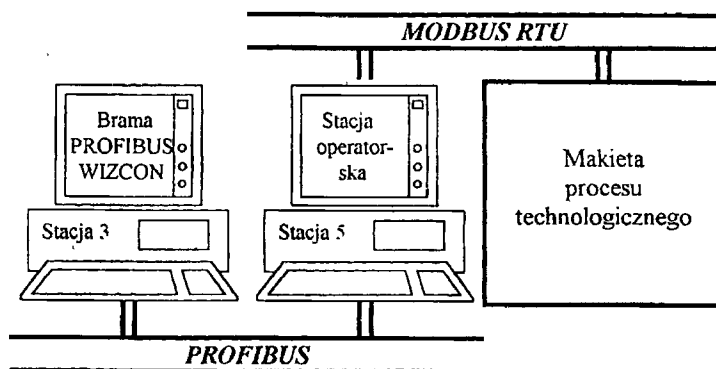
Zasada pomiaru grubości oparta jest na metodzie triangulacji [6]. Pomiaru wykonywane są w trakcie transportu płyty między szlifierką i stanowiskiem brakarki (B) - por. rys. 3. Głowice pomiarowe zostały zorganizowane w trzy różnicowe tory pomiarowe (1-2, 3-4, 5-6). Każda głowica ma własny mikrosterownik wyznaczający odległość do powierzchni płyty. Wyniki przesyłane są magistralą szeregową (RS485) do sterownika (8) określającego wynik pomiaru grubości każdej sprzężonej pary głowic (1-2, 3-4, 5-6). Pomiar różnicowy eliminuje wpływ drgań i przesunięć płyty w trakcie transportu wzdłuż ciągu technologicznego. Początek i koniec pomiarów danej płyty wyznacza czujnik obecności płyty (7), odmierzający również interwały pomiarów w jednostkach długości (mm). Po przejściu płyty pod głowicami pomiarowymi (1...6) sterownik (8) przesyła odpowiednio sformatowane wyniki pomiarów do terminala nadrzędnego (IBM PC), umieszczonego na stanowisku brakarki (B). Sterownik (8) generuje dodatkowy sygnał synchronizacji głowic, wymuszając jednoczesny pomiar grubości przez wszystkie głowice. Eliminuje to błędy spowodowane pomiarem odległości w różnych miejscach przesuwanej się płyty. Dokładniejszy opis stanowiska można znaleźć w [6].

Brama PROFIBUS - WIZCON (stacja 3) od strony obiektowej obsługuje wzorcowe stanowisko operatorskie nadzorujące symulowany system automatycznej regulacji i sterowania.

Stanowisko złożone jest ze stacji operatorskiej zrealizowanej na komputerze PC, połączonej za pomocą miejscowej sieci transmisyjnej (RS 485, MODBUS) z makieta projektu technologicznego oraz za pomocą lokalnej sieci transmisyjnej PROFIBUS z bramą PROFIBUS-WIZCON oraz z innymi stacjami sieci lokalnej PROFIBUS w laboratorium PIAP. Konfiguracja sieci w obrębie stanowiska badawczego pokazana jest na rys. 4. Wszystkie urządzenia zasilane są napięciem sieciowym 220 V, 50Hz.



Rys. 3. Architektura systemu do pomiaru grubości płyt wiórowych [6].



Rys. 4. Konfiguracja sieci w obrębie wzorcowego stanowiska operatorskiego.

Brama PROFIBUS - LonWorks (stacja 4) od strony sieci LonWorks zawiera urządzenia pomiarowe, sterujące, wykonawcze i transmisyjne różnych firm zagranicznych, stosujących jednolity standard interfejsu komunikacyjnego LonWorks. W instalacji są wykorzystane różne media transmisyjne, w tym przewody sieci zasilającej i skrętki. Sieć miejscowa LonWorks łączy urządzenia pomiarowe, sterujące i wykonawcze z urządzeniami operatorskimi, w tym ze stacją operatorską monitorującą przepływ i zużycie mediów energetycznych. Część czujników instalacji LonWorks jest dołączona do sieci energetycznej, wodociągowej i grzewczej PIAP. Instalacja zawiera ogółem 31 urządzeń sieci LonWorks, 6 kanałów (odcinków sieci oddzielonych od siebie routerami). Dokładniejszy opis zainstalowanego w LSS segmentu sieci LonWorks można znaleźć w [1].

## 5. WYKORZYSTANIE INSTALACJI DO BADAŃ I SZKOLEŃ

### 5.1. Wykorzystanie stacji specjalizowanych

Zrobotyzowane gniazdo (stacja 1) umożliwia utworzenie modelowego systemu wielorobotowego, ze sterowaniem nadrzędnym, integrującego różne urządzenia sterowania i włączenie systemu wielorobotowego w strukturę systemu wytwarzania o cechach CIM za pośrednictwem przemysłowej lokalnej sieci komputerowej typu PROFIBUS. Dzięki temu uzyskuje się stanowisko szkoleniowego programowania robotów przemysłowych i sterowników logicznych, szczególnie do zadań realizowanych przez grupę współpracujących urządzeń.

Stanowisko pomiaru grubości (stacja 2) może zostać wykorzystane do szkoleń z dziedziny opracowywania danych dotyczących badania jakości produkcji.

Wzorcowe stanowisko operatorskie nadzorujące symulowany system automatycznej regulacji i sterowania (stacja 3) jest przeznaczone do szkoleń w dziedzinie tworzenia aplikacji pracujących w czasie rzeczywistym, zapewniającym nadzorowanie przebiegu ciągłego procesu technologicznego oraz przetwarzanie i prezentację danych procesowych. Oprogramowanie stacji zawiera gotowe propozycje odnośnie sposobu realizacji poszczególnych zadań związanych ze sterowaniem nadrzędnym, kontrolą i wizualizacją procesu technologicznego, co zapewnia spełnienie wszystkich funkcji wymaganych od stacji operatorskiej w stosunku do obiektowych urządzeń pomiarowych i kontrolno-regulacyjnych. Stacja operatorska może również znaleźć zastosowanie przy szkoleniach dotyczących automatyzacji procesów przemysłowych w wielu dziedzinach produkcji, a w szczególności: w energetyce, ciepłownictwie, ochronie środowiska, chemii, w przemyśle przetwórczym itp.

Składniki instalacji badawczej sieci LonWorks (stacja 4) umożliwiają realizację zadań automatyzacji różnych procesów przemysłowych. Instalacja jest wyposażona w pakiety oprogramowania umożliwiające dowolne rekonfigurowanie struktury sieci jak i struktur składników w węzłach sieci oraz programowanie parametrów składników węzłów sieci. Instalacja badawcza umożliwia między innymi wykonanie następujących badań i szkoleń:

- badania funkcjonalne, w tym dynamicznej rekonfiguracji i zmiany parametrów, zarówno lokalnie w węzle, jak i w sieci miejscowej LonWorks, z jej stacji centralnej,
- badania mediów, zasięgu sieci, parametrów eksploatacyjnych (szczególnie efektywnej szybkości przekazu danych użytkowych i stopy błędów),
- badania zakłócalności,
- badania dynamiczne przy symulacji różnego natężenia ruchu w sieci,
- badania kompatybilności w heterogenicznym środowisku sieciowym.

### 5.2. Wykorzystanie instalacji sieciowych

Wykorzystanie sieci LonWorks omówiono w p. 5. 1. Pozostałe instalacje sieciowe (PROFIBUS, MAP (802.3) - MMS i MAP (802.4) - MMS) posłużą do następujących badań i szkoleń:

zapoznanie się z różnymi standardami transmisji (PROFIBUS, 802.3, 802.4) i ich badanie, przy wykorzystaniu monitorów sieci,  
praktyczne zapoznanie się z protokołami FMS i MMS i ich wykorzystaniem w sferze zintegrowanego wytwarzania,  
łączenia segmentów sieci o różnych standardach,



odpowiedniego doboru sieci do celów zintegrowanego wytwarzania z uwzględnieniem właściwości różnych sieci.

Ponadto segment MAP (802.4) - MMS, po odpowiednim skonfigurowaniu stacji 1 i posadowieniu w stacjach 13 i 14 oprogramowania opracowanego w ramach grantu "Badania modelu wirtualnego urządzenia wytwórczego VMD zorientowanego na rodzinę robotów URP" (umowa z KBN nr PB 879/T11/95/08) posłuży do badania i szkoleń nadzoru pracy gniazda robotowego bezpośrednio poprzez protokół MMS.

## LITERATURA

- [1] Goszczyński T.: *Badania nad zastosowaniem sieci LonWorks do komputerowo zintegrowanego wytwarzania*, mat. konf. MECHATRONIKA'97, Warszawa 1997, 59-62.
- [2] Mrzygłód M., Reinér J., Smalec Z., Skura K.: *Zagadnienia komunikacji w sieci PROFIBUS na przykładzie wybranych rozwiązań sprzętowych i programowych*, mat. konf. AUTOMATION'97, Warszawa 1997, 337-343.
- [3] Pietrusiński Z.: *Właściwości funkcjonalne i algorytmy przemysłowego mikroprocesorowego regulatora MRP-42C*, mat. konf. AUTOMATION'97, Warszawa 1997, 213-220.
- [4] Pietrusiński Z., Zychowicz M.: *Opracowanie i wykonanie wzorcowego stanowiska operatorskiego nadzorującego symulowany system automatycznej regulacji i sterowania. Etap 5: Weryfikacja wyników badań, opracowanie zaleceń technicznych i podręcznika dla stacji operatorskiej*, Sprawozdanie PIAP nr arch. 7463, Warszawa 1997.
- [5] Syrczyński A.: *Integracja heterogenicznych sieci w środowisku przemysłowym*, mat. konf. AUTOMATION'97, Warszawa 1997, 319-328.
- [6] Więcko R., Okrasa D., Zasucha A.: *Przemysłowy system laserowego pomiaru grubości wyrobów z materiałów niebłyszczących*, Biuletyn PIAP 2-178, 1995, 38-50.