

10. Wprowadzenie do systemów sieciowych

10.1. Charakterystyka i klasyfikacja sieci

Nie wnikając nadmiernie w szczegóły realizacyjne należy przyjąć, że zdolności komunikacyjne należą do podstawowych i koniecznych cech funkcjonalnych urządzeń, które mogą być klasyfikowane jako urządzenia inteligentne. Warunek ten można próbować odwrócić twierdząc, że każde urządzenie, które nie posiada możliwości komunikacyjnych jest nieinteligentne. „Inteligencja” techniczna jest zatem współokreślona przez funkcje komunikacyjne, a te zaś stanowią jej warunek konieczny.

Ponieważ współczesne systemy automatyzacji i sterowania korzystają głównie z urządzeń inteligentnych, to szczególnej wagi nabierają także systemy komunikacyjne stosowane w tych systemach. Obecnie stosowane są w praktyce zarówno systemy komunikacji **analogowej** jak i **cyfrowej**. Jednak od wielu lat obserwowany jest wyraźny trend rozwojowy systemów komunikacji cyfrowej.

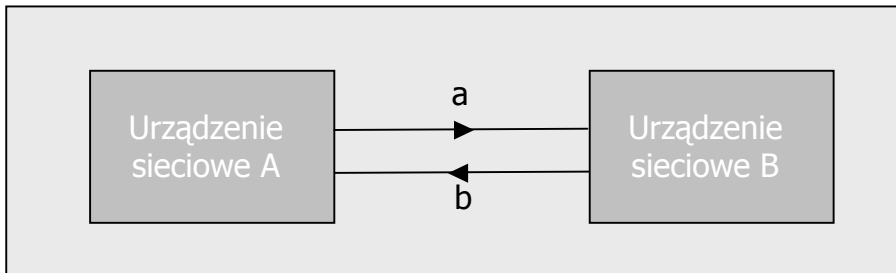
Podstawową zaletą komunikacji analogowej jest jej prostota, akceptowalność techniczna, niska cena, prosty serwis, duża odporność na zaburzenia elektromagnetyczne, możliwość stosowania (z uwzględnieniem określonych warunków) w strefach zagrożonych wybuchem. Do podstawowych wad komunikacji analogowej należy zaliczyć: ograniczoną przepustowość informacyjną sieci, brak możliwości realizacji złożonych topologii sieciowych i jednokierunkowość przesyłu informacji.

Cyfrowe systemy komunikacji posiadają zdolności komunikacji dwukierunkowej o znacznej przepustowości informacyjnej.

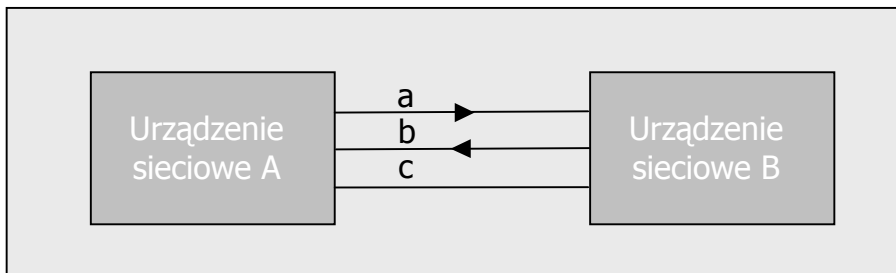
Zarówno sieci analogowe jak i cyfrowe mogą być konstruowane jak tzw. **sieci dwuprzewodowe**. Sieci dwuprzewodowe (rys 10.1), to takie sieci, które są zdolne przy pomocy wyłącznie jednej pary przewodów nie tylko przesyłać informację pomiędzy urządzeniami sieciowymi, ale także służyć do zasilania tych urządzeń. Należy zwrócić uwagę, że sieci dwuprzewodowe należą do grupy sieci, które szczególnie chętnie są stosowane w strefach zagrożonych wybuchem. Wynika to między innymi z faktu, że urządzenia takie są budowane zwykle w taki sposób, że ich zapotrzebowanie na moc elektryczną zwykle nie przekracza 40mW. Dzięki temu moc elektryczna wprowadzana przez sieć w strefę iskrobezpieczną jest stosunkowo niewielka. Dwuprzewodowe sieci analogowe, w których wykorzystywany jest nośnik informacji w postaci prądu nazywane są tzw. **pętlami prądowymi**. Oprócz sieci dwuprzewodowych stosowane są również sieci trzy i czteroprzewodowe.

Sieci trójprzewodowe to takie sieci, w których jedna para przewodów jest wykorzystywana jako podkładowy kanał komunikacyjny i służy do przesyłania sygnału, natomiast druga para jest wykorzystywana do zasilania urządzenia. Obie pary przewodów mają jeden przewód wspólny (por. rys. 10.2).

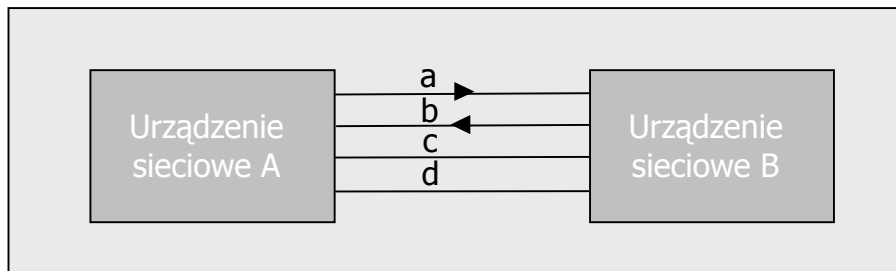
Sieci czteroprzewodowe to takie sieci, które wykorzystują dwie rozdzielne pary przewodów, z których pierwsza służy do celów komunikacyjnych, natomiast druga para jest wykorzystywana do zasilania urządzenia.



Rys. 10.1 Idea dwuprzewodowego sieciowego systemu komunikacyjnego.
Oznaczenia: a,b- linie sygnałowe i zasilające.



Rys. 10.2 Idea trójprzewodowego sieciowego systemu komunikacyjnego.
Oznaczenia: a,b- linie sygnałowe, b,c- linie zasilające.



Rys. 10.4 Idea czteroprzewodowego sieciowego systemu komunikacyjnego.
Oznaczenia: a,b- linie sygnałowe, c,d- linie zasilające.

We współczesnych systemach automatyzacji i sterowania stosowane są coraz częściej cyfrowe systemy komunikacji sieciowej. Umożliwiają one tworzenie sieci lokalnych, a także sieci globalnych. Ze względu jednak na konieczność zapewnienia bezpieczeństwa sterowanego procesu, co do zasady stosowane są środki ograniczające nieautoryzowany dostęp do przemysłowych sieci komunikacyjnych. Stąd, szczególnie chętnie stosowane są w takich zastosowaniach **sieci lokalne** (LAN). Sieci lokalne stosowane w automatyzacji procesów nazywane są również **sieciami polowymi** lub sieciami typu **fieldbus**. Cechą charakterystyczną tych sieci jest ograniczony zasięg terytorialny (do kilkunastu kilometrów) oraz ograniczone prędkości transmisji (do kilkunastu Mb/s).

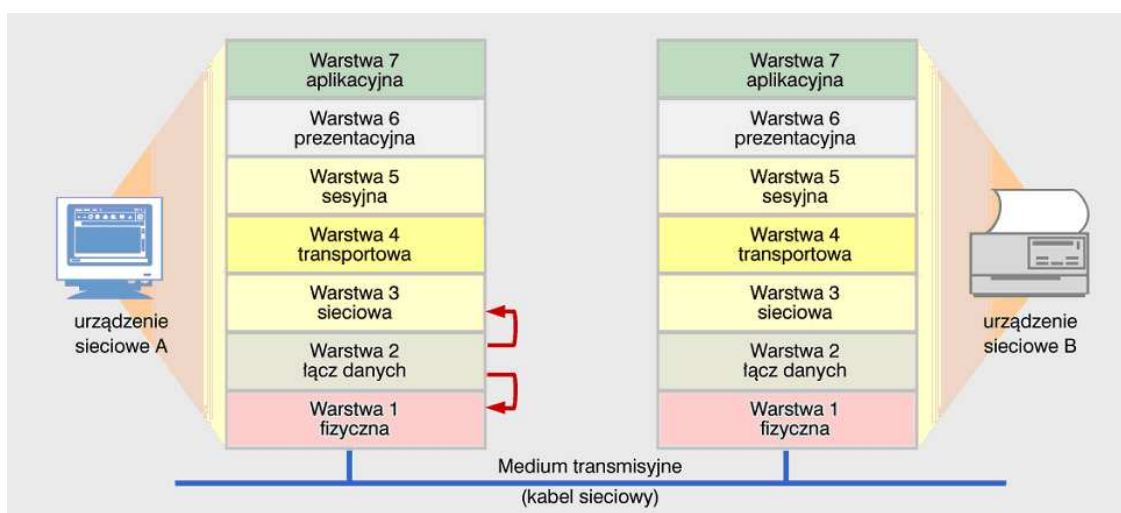
Rozległe sieci komunikacyjne typu WAN stosowane są do obsługi warstw zarządzania i planowania przedsiębiorstw, w których nie jest w zasadzie wymagany **determinizm** sieci. Determinizm jest szczególną cechą sieci polegającą na terminowej i przewidywalnej czasowo realizacji **transakcji sieciowych**. Sieci posiadające cechę

determinizmu nazywane są czasami **sieciami czasu rzeczywistego**. O sieciach czasu rzeczywistego mówimy również, że są przeznaczone do pracy w trybie **on-line**.

Transakcja sieciowa jest realizacją techniczną sformalizowanej procedury przesłania informacji w sieci. Zasady formalne opisujące możliwe transakcje sieciowe są specyfikowane w postaci odpowiednich dokumentów. Każda sieć komunikacyjna ma swoją własną, unikalną specyfikację sieciową. Specyfikacja zasad wymiany informacji w sieci nazywana jest często **protokołem sieciowym**. Rozróżniamy otwarte i zamknięte protokoły komunikacyjne. **Otwarte** protokoły komunikacyjne, to protokoły, których specyfikacja jest dostępna w domenie publicznej. **Zamknięte** protokoły komunikacyjne zwane czasami protokołami firmowymi, są protokołami o niejawniej specyfikacji. W praktyce protokoły zamknięte mają znaczenie marginalne. Protokoły otwarte są rozwijane i wspierane przez specjalnie utworzone ponadnarodowe organizacje zrzeszające użytkowników i producentów elementów sieciowych. Organizacje te zapewniają również wsparcie dla producentów elementów sieciowych polegające między innymi na opracowaniu jednolitych procedur pozwalających na realizację procesu certyfikacji produkowanych urządzeń sieciowych.

10.2. Warstwowy model referencyjny sieci

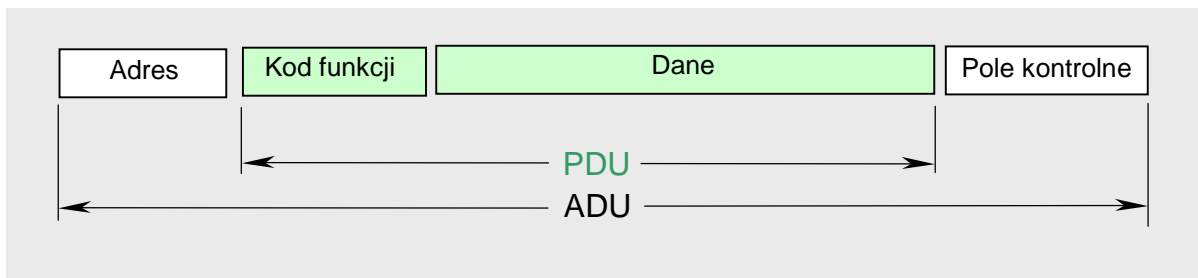
Sieciowe systemy komunikacyjne opisywane są w wymiarze funkcjonalnym w postaci wirtualnego modelu siedmiowarstwowego zwanego modelem odniesienia ISO/OSI¹ [3]. Model ten prezentuje szkieletową strukturę sieci wirtualnej. W modelu przyjęto zasadę, że każda warstwa świadczy usługi, ale wyłącznie warstwom bezpośrednio z nimi sąsiadującymi. Warstwowy model ISO/OSI zaimplementowany w odpowiednim sterowniku komunikacyjnym urządzenia nosi często nazwę **stosu komunikacyjnego**. Co do zasady nie wszystkie warstwy modelu ISO/OSI muszą być zaimplementowane. Wyróżniamy **warstwy wyższe** protokołu (warstwy: sesyjna, prezentacyjna i aplikacyjna) oraz **warstwy niższe** protokołu (warstwy: fizyczna, łącza danych, sieciowa i transportowa).



Rys. 10.5. Przykład komunikacji pomiędzy urządzeniami sieciowymi zgodny z siedmiowarstwowym modelem komunikacyjnym ISO/OSI.

¹ International Organisation for Standardisation/Open System Interconnection

Niższe warstwy modelu są odpowiedzialne za fizyczną realizację procesu transportu informacji w sieci. W tym celu, nadajnik informacji dokonuje podziału strumienia danych przeznaczonych do wysłania na fragmenty zwane PDU (*Protocol Data Units*). Jednocześnie odbiornik informacji dokonuje procesu odwrotnego, tzn. odtwarza strumień danych na podstawie procesu defragmentacji jednostek PDU. W warstwie niższej następuje również uzupełnienie jednostek PDU o dodatkowe informacje (pola) zależne od typu stosowanej sieci. Jednostka PDU łącznie z dodatkowymi polami nosi nazwę jednostki ADU (*Application Data Unit*). W jednostce ADU w stosunku do jednostki PDU są zawarte dodatkowe informacje pozwalające na prawidłowe skierowanie jednostki ADU w sieci (np. adres docelowy lub i adres źródła informacji) oraz informacje pozwalające na formalną kontrolę poprawności transmisji jednostki ADU przez jednostkę sieciową, do której kierowana jest ADU (pole kontrolne).



Rys 10.6 Pola jednostek PDU i ADU dla specyfikacji sieci MODBUS [4].

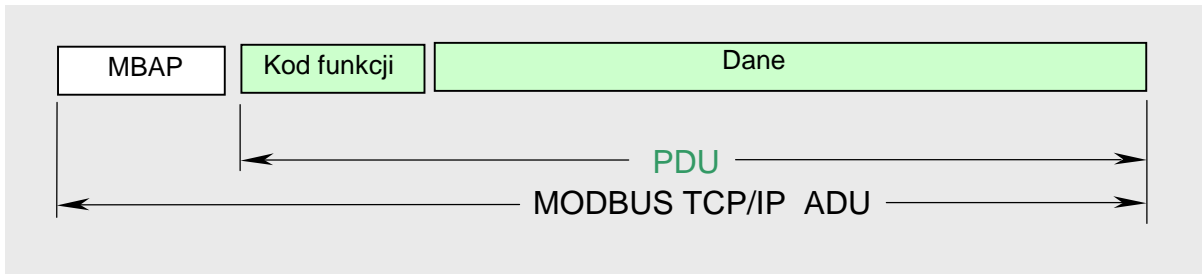
10.2.1. Warstwy niższe modelu ISO/OSI

Warstwa transportowa jest odpowiedzialna za segmentację danych do postaci jednostek PDU w procesie nadawania informacji i jest odpowiedzialna za proces odwrotny tzn. za składanie jednostek PDU do postaci strumienia danych w procesie odbioru informacji. Warstwa transportowa jest również odpowiedzialna za nadzór nad prawidłowością realizacji transportu ADU do sieciowej jednostki docelowej. W tym celu warstwa transportowa w procesie nadawania informacji korzysta z informacji zwrotnych kierowanych przez jednostkę docelową i informująca ją o fakcie dotarcia i poprawności formalnej wysłanej jednostki ADU. Informacja ta może być interpretowana jako potwierdzenie odbioru. W przypadku braku potwierdzenia warstwa transportowa może zlecić ponowną wysyłkę kopii tej samej jednostki ADU, której oryginał najprawdopodobniej zaginął lub uległ uszkodzeniu w sieci.

W większości sieci stosowanych do automatyzacji procesów przemysłowych stosowane są sieci LAN, w których warstwa transportowa nie jest z reguły implementowana. Zadania tej warstwy są wówczas przenoszone do warstwy aplikacyjnej i realizowane przez aplikację użytkową.

Warstwa sieciowa jest odpowiedzialna za utworzenie prawidłowych połączeń komunikacyjnych (kanałów komunikacyjnych) pomiędzy źródłem i ujściem informacji. Inaczej mówiąc warstwa sieciowa odpowiedzialna jest za ruch w sieci i prawidłowe skierowanie jednostek PDU. W związku z tym musi posiadać wiedzę dotyczącą **topologii** sieci. Na podstawie znajomości topologii sieci w warstwie sieciowej następuje rozpoznanie tras (kanałów), po których mogą być realizowane transfery sieciowe oraz następuje dystrybucja przesyłanej informacji pomiędzy tymi kanałami. Warstwa sieciowa odgrywa również rolę regulatora ruchu sieciowego. W przypadku gdy przepustowość dysponowanych

kanałów komunikacyjnych jest zbyt mała, warstwa sieciowa ma prawo wyselekcjonować ze strumienia przesyłanej informacji tylko tę jej część, która może być realnie przesłana. W takim przypadku dochodzi do strat w strumieniu przesyłanej informacji. Warstwa sieciowa nie bierze odpowiedzialności za te straty. Są one kontrolowane i kompensowane przez wyższe warstwy protokołu np. warstwę transportową. W warstwie sieciowej stosowane są między innymi implementacje: IPv4 i IPv6.



Rys 10.7 Pola jednostek PDU i ADU dla specyfikacji sieci MODBUS TCP/IP [5].

Oznaczenia: MBAP – *Modbus Application Protocol Header* - nagłówek jednostki ADU zawierający informacje o: identyfikatorze jednostki sieciowej, długości przesyłanego pola danych w bajtach, identyfikatorze protokołu inicjowanego przez klienta i identyfikatorze transakcji pozwalającym na realizację operacji scalania jednostek ADU w strumień danych.

W większości sieci stosowanych do automatyzacji procesów przemysłowych stosowane są sieci LAN, w których warstwa sieciowa nie jest z reguły implementowana. Zadania tej warstwy są wówczas realizowane przez aplikację użytkową.

Warstwa łącza danych zwana warstwą liniową pełni dwie podstawowe role: logistyczną i kontrolną. Zasadniczą rolą tej warstwy polega w przypadku nadawania na podziale przekazywanej informacji na fragmenty i uzupełnianie tej informacji o pole kontrolne. W przypadku odbioru, warstwa łącza sprawdza poprawność formalną odbieranych jednostek ADU. Warstwa łącza danych może również parametryzować właściwości warstwy fizycznej w taki sposób, aby obniżyć liczbę transferów z błędami. W warstwie łącza danych następuje również operacja **enkapsulacji** informacji w ramki LPDU (*data Link Protocol Data Unit*) o strukturze zgodnej ze specyfikacją wykorzystywanego protokołu sieciowego. W warstwie łącza danych wydzielane są dwie podwarstwy: LLC (*Logical Link Control*) i MAC (*Media Access Control*). Warstwa LLC odpowiedzialna jest za kontrolę poprawności transmisji. Warstwa MAC zapewnia dostęp warstwy łącza danych do podkładowego kanału komunikacyjnego (medium komunikacyjnego) obsługiwanego przez warstwę fizyczną.

W większości sieci stosowanych do automatyzacji procesów przemysłowych stosowane są sieci LAN, w których warstwa łącza jest z reguły implementowana lub realizowana sprzętowo przez odpowiedni kontroler warstwy łącza danych np. kontroler CAN 2.0B.

Warstwa fizyczna definiuje wszystkie składniki materialne i funkcjonalne, które są konieczne do fizycznej realizacji procesu komunikacji. Jest warstwą konieczną do realizacji procesu komunikacyjnego. Należy zwrócić uwagę, że procesy komunikacyjne wykorzystywane obecnie w systemach sieciowych wykorzystują tryb transmisji szeregowej. W związku z tym w warstwie fizycznej w procesie nadawania realizowana jest transformacja informacji z postaci równoległej do szeregowej. Podobnie w procesie odbioru pokonywana konwersja odwrotna tzn. konwersja z postaci szeregowej do równoległej. Dodatkowo szeregowo bitowe strumienie informacji podlegają dodatkowemu kodowaniu w celu dostosowania do właściwości stosowanego kanału podkładowego. Stosowane są np. techniki

kodowania częstotliwościowego z kluczowaniem fazy (FSK), techniki kodowania czasowego takie jak np. bifazowy kod Manchester czy kod NRZ z techniką *bit stuffing*.

Informacja pomiędzy jednostkami sieciowymi wymieniana jest w warstwie fizycznej w trybie szeregowej **transmisji jednoczesnej** (*full duplex*) lub **naprzemiennej** (*half duplex*). Może odbywać się synchronicznie lub **asynchronicznie**. Sposób i tryb realizacji transmisji w warstwie fizycznej jest zależny od konkretnego protokołu komunikacyjnego. Warstwa fizyczna specyfikuje również parametry elektryczne stosowanego kanału komunikacyjnego. Należy zwrócić uwagę, że dla wielu protokołów sieciowych istnieje możliwość wyboru warstwy fizycznej. W tym sensie warstwa fizyczna nie jest warstwą unikalną dla danego protokołu komunikacyjnego. Znane są specyfikacje protokołów, które nie definiują warstwy fizycznej np. MODBUS i takie, które korzystają z tej samej specyfikacji np. Profibus PA i Foundation Fieldbus H1. Zgodność warstw fizycznych sieci gwarantuje jedynie kompatybilność tych sieci na poziomie elektrycznym i mechanicznym. Nie gwarantuje natomiast zgodności na poziomie warstw wyższych, a więc kompatybilności informacyjnej.

Warstwa fizyczna jest warstwą obligatoryjną dla wszystkich sieci stosowanych do automatyzacji procesów przemysłowych. Należy jednak zaznaczyć, że ze względu na zapewnienie odporności tych sieci na zaburzenia elektromagnetyczne charakterystyczne dla środowiska przemysłowego, stosowanie są w tych sieciach relatywnie niskie prędkości transmisji w porównaniu z sieciami stosowanymi do innych celów.

10.2.2. Warstwy wyższe modelu ISO/OSI

Warstwa sesyjna nadzoruje kanały komunikacyjne wytworzone w warstwie transportowej zapewniając prawidłowe połączenie pomiędzy jednostkami sieciowymi na poziomie aplikacji sieciowych. Dokonuje kojarzenia strumieni przesyłanych danych z realizowanymi aplikacjami zapewniając nadzór zarówno nad kierunkiem, jak i ciągłością transmisji.

Ze względu na lokalny zasięg, w większości sieci stosowanych do automatyzacji procesów przemysłowych warstwa sesyjna nie jest implementowana. Zadania tej warstwy (jeśli występują) są realizowane przez aplikację użytkową obsługującą proces komunikacji.

Warstwa prezentacji w procesie nadawania nadzoruje proces przetwarzania danych pochodzących z warstwy aplikacyjnej do formatu kanonicznego (*canonical representation*) zgodnego ze specyfikacją OSI. Warstwa prezentacji dokonuje procesu odwrotnego w procesie odbioru. Warstwa ta odpowiada między innymi za kodowanie i szyfrowanie przesyłanych danych, a także za operacje ich dekodowania i deszyfrowania. W warstwie tej może być np. realizowana konwersja formatów graficznych JPEG, MPEG, GIF. Warstwa prezentacji odgrywa szczególną rolę w systemach komunikacji z zabezpieczeniami.

W większości sieci stosowanych do automatyzacji procesów przemysłowych warstwa prezentacji nie jest implementowana. Zadania tej warstwy (jeśli występują) są realizowane przez aplikację użytkową obsługującą proces komunikacji.

Warstwa aplikacji jest warstwą najwyższą stosu komunikacyjnego mającą bezpośrednie połączenie z aplikacjami użytkowymi obsługującymi proces komunikacji. W warstwie tej definiowany jest język oraz zasady syntaktyczne umożliwiające sieciową komunikację aplikacji użytkowych. Typowymi funkcjami definiowanymi w tej warstwie są

funkcje otwarcia, zamknięcia, odczytu i zapisu plików, funkcje uruchamiania zdalnego zadań, funkcje pozwalające na monitorowanie dostępnych zasobów sieciowych. Warstwa ta daje narzędzia programowe to tworzenia aplikacji obsługujących proces komunikacji.

W większości systemów sieciowych stosowanych do automatyzacji procesów przemysłowych warstwa aplikacyjna jest realizowana. Warstwa aplikacyjna nie jest wyróżnikiem sieci komunikacyjnej. Oznacza to, że ta sama sieć może mieć zaimplementowanych kilka różnych warstw aplikacyjnych. Dla przykładu w sieci CAN stosowane są warstwy aplikacyjne: CanOpen, Kingdom, J1939.

10.3. Literatura

- [1] J. Ułasiewicz: *Systemy czasu rzeczywistego QNX6 Neutrino*. Wydawnictwo BTC, ISBN 978-83-60233-27-6, str. 301 Warszawa 2007.
- [2] K. Sacha: *Systemy czasu rzeczywistego*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, ISBN 83-7207-124-1, str. 135, Warszawa, 2006.
- [3]. ISO s7498-1:1994: *Information technology – Open Systems Interconnection – Basic Reference Model: The Basic Model*.
- [4]. <http://www.modbus.org/specs.php>. MODBUS Protocol Specification.
- [5]. <http://www.modbus.org/specs.php>. MODBUS TCP/IP Protocol Specification.
- [6]. A. Tanenbaum: *Sieci komputerowe*, Helion, 2004, ISBN 83-7361-557-1.