Sieci przemysłowe PROFIBUS DP i PROFINET IO

Arkadiusz Mystkowski

Białystok 2012

Spis treści

1. Komunikacja w sieci PROFIBUS DP 4
1.1. Warstwa fizyczna 5
1.2. Protokół sieci PROFIBUS 14
1.3. Ramki protokołu PROFIBUS DP 18
1.4. Parametry magistrali PROFIBUS DP 25
1.5. Znaczenie pliku .GSD 25
1.6. Diagnostyka sieci PROFIBUS DP 30
2. Ćwiczenia z projektowania sieci PROFIBUS DP 36
2.1. Konfiguracja sieci PROFIBUS DP 36
2.2. Dwukierunkowa wymiana danych w sieci PROFIBUS DP 55
2.3. Diagnostyka sieci PROFIBUS DP i stacji Master/Slave 65
2.4. Komunikacja w sieci PROFIBUS DP z procesorem komunikacyjnym 78
2.5. Aktywacja i dezaktywacja stacji DP Slave w sieci PROFIBUS DP 81
2.6. Synchronizacja i zamrażanie wejść/wyjść stacji DP Slave 88
3. Komunikacja w sieci PROFINET IO 97
3.1. Protokół TCP/IP 97
3.2. Model ISO/OSI 99
3.3. Media transmisji dla Ethernet 10Mb/s 99
3.4. Media transmisji dla Ethernet 100Mb/s 99
3.5. Sposób dostępu do medium w sieci Ethernet 100
3.6. Ramki w sieci Ethernet 100
3.7. Praca urządzeń typu switch 101
3.8. Profil komunikacyjny w sieci PROFINET IO 103
3.9. Warstwa fizyczna 106
3.10. Topologia sieci PROFINET IO 112
3.11. Redundancja i hierarchiczność systemu sieciowego 115
3.12. Model urządzenia sieci PROFINET IO 118
3.13. Protokoły wykorzystane w PROFINET IO 119
3.14. Opis urządzenia – GSDML 120
3.15. Cykl sieci PROFINET IO 120
3.16. Komunikacja acykliczna 121
3.17. Komunikacja czasu rzeczywistego 122
3.18. Diagnostyka sieci PROFINET IO 129
4. Ćwiczenia z projektowania sieci PROFINET IO 137
4.1. Konfiguracja połączenia stacji PC z systemem PROFINET IO 137
4.2. Przyporządkowanie adresów IP oraz nadawanie nazw stacjom PROFINET IO 138
4.3. Konfigurowanie sieci PROFINET IO 140
4.4. Ustawianie cyklu wymiany danych i cyklu odświeżania informacji 145
4.5. Konfiguracja parametrów urządzeń IO 148
4.6. Konfiguracja PROFINET CBA 150
4.7. Konfiguracja trybu IRT sieci PROFINET IO, topologia sieci 151
4.8. Konfiguracja szybkiego restartu stacji w sieci PROFINET IO 159
4.9. Programowanie cyklicznej wymiany danych procesowych w sieci PROFINET IO 161
4.10. Wykonywanie diagnostyki sieci PROFINET IO 168
4.11. Protokół ARP, nasłuch ramki pakietów w sieci PROFINET IO 173
4.12. Przypisywanie nazw i adresów stacjom IO-Devices 175
4.13. Wymiana danych acykliczna, IRT i przesyłanie alarmów 178
4.14. Projektowanie funkcji IT (WEB) dla IO-Controller 180
Literatura 183

Od Autora

Dzisiejsze systemy sterowania w aplikacjach przemysłowych (ang. *process automation control systems*) mają charakter rozproszony i charakteryzują się dużą liczbą zmiennych procesowych. Są to aplikacje działające w czasie rzeczywistym, często krytyczne czasowo. Systemy czasu rzeczywistego (ang. *real time systems*) stanowią specyficzną, ale bardzo ważną dziedzinę współczesnej informatyki przemysłowej. Typowymi i najliczniejszymi przedstawicielami systemów sterujących w czasie rzeczywistym są systemy sterowania procesami przemysłowymi, często należące do klasy systemów określanych jako wbudowane. Ich zadaniem jest sterowanie liniami technologicznymi, obrabiarkami CNC, robotami/manipulatorami na liniach produkcyjnych, układami napędowymi, itd.

Złożoność samego przetwarzania w czasie rzeczywistym oraz fakt, że oprogramowanie czasu rzeczywistego jest implementowane najczęściej w niewidocznych, najniższych warstwach systemów informatycznych, sprawia, że elementy te są ukryte przed przeciętnymi użytkownikami, a wiedza na ich temat jest niewielka i trudno dostępna.

Systemy szeroko rozumianej informatyki przemysłowej są coraz to bardziej rozbudowane i rozproszone. W układach tych sterowanie realizowane jest przez sieci połączonych sterowników cyfrowych i innych peryferii. Dlatego też znajomość systemów sieci przemysłowych jest obowiązkowa dla każdego inżyniera realizującego zadania związane ze sterowaniem zdecentralizowanym.

Niniejszy podręcznik w sposób zwięzły charakteryzuje podstawy działania, projektowania, uruchamiania i diagnostyki najczęściej używanych sieci przemysłowych na poziomie akademickim. Celem podręcznika jest przybliżenie informacji wymaganych do projektowania, realizowania i serwisowania sieci przemysłowych wykorzystujących programowalne sterowniki logiczne PLC. Treść publikacji dotyczy opisu dwóch najczęściej stosowanych standardów komunikacyjnych w systemach sieciowych, a mianowicie PROFIBUS DP i PROFINET IO.

Publikacja stanowi podręcznik akademicki przeznaczony dla studentów studiów technicznych I i II stopnia. Przy czym książka nie stanowi kursu podstawowego. Treść skryptu została napisana z założeniem, że czytelnik potrafi programować sterowniki PLC oraz zna zasady działania systemów sieciowych.

Treść podręcznika jest podzielona na cztery części. W pierwszej części są opisane najważniejsze podstawy teoretyczne dotyczące sieci PROFIBUS DP. Została scharakteryzowana tutaj warstwa fizyczna i okablowanie sieci. Opisano szczegóły protokołu PROFIBUS oraz ramki danych. Przedstawiono metody diagnostyki urządzeń sieci PROFIBUS DP. Zdefiniowano także parametry magistrali sieciowej. W drugiej części podręcznika zostały opisane ćwiczenia z projektowania, budowania i uruchamiania sieci PROFIBUS DP w oparciu o system SIMATIC w pracowni dydaktycznej. Ćwiczenia zawierają tematy związane z konfiguracją sieci, dwukierunkową wymianą danych oraz diagnostyką sieci. W trzeciej części skryptu przedstawiono interfejs sieciowy PROFINET IO. Opisano standard Ethernet i protokół TCP/IP. Zawarto opis ramek i protokołów używanych przez PROFINET IO. Scharakteryzowano parametry pracy sieci w czasie rzeczywistym, opisano tryb RT, IRT, nie-RT. Podano metody diagnostyki sieci PROFINET IO oraz urządzeń sieciowych. Cześć czwarta książki zawiera zadania i ćwiczenia z konfigurowania, parametryzowania, uruchamianiami i diagnostyki systemów sieciowych PROFINET IO. Zwrócono tutaj uwagę na obsługę trybu komunikacji w czasie rzeczywistym typu: RT, IRT. Rozdział czwarty zawiera także opis nasłuchu pakietów sieci z wykorzystaniem oprogramowania Wireshark oraz funkcje IT typu: WEB, FTP, itd.

Cześć teoretyczna skryptu nie jest zorientowana na konkretnego producenta urządzeń PLC i peryferii. Podstawą do opracowania części teoretycznej publikacji był standard opisany w normach IEC i EN/PN.

Autor

Treść publikacji stanowi podręcznik akademicki dla studentów I i II stopnia studiów do przedmiotu „Przemysłowe sieci komputerowe". Niniejsza publikacja nie stanowi materiału komercyjnego i może być wykorzystywana tylko w procesie dydaktycznym. Wykorzystanie treści podręcznika do celów komercyjnych stanowi naruszenia prawa.
Treść pracy jest chroniona prawem autorskim. Żadna cześć podręcznika nie może być powielania i rozpowszechniana w jakiejkolwiek formie bez pisemnej zgody wydawcy.

1. Komunikacja w sieci PROFIBUS DP

Wstęp

System PROFIBUS (ang. *Process Field Bus*) to przemysłowa magistrala polowa przeznaczona do komunikacji w systemach automatyki [1÷3, 5]. Standard ten został opracowany w Niemczech w 1989r., a następnie wprowadzony na rynek przez firmę SIEMENS [29]. System sieciowy został zestandaryzowany i opisany normą DIN 19245 w 1991r. Aktualnie jest to interfejs sieciowy nr 1. W świecie zarejestrowano ponad 23 miliony urządzeń pracujących w sieciach PROFIBUS [27, 28]. System ten pozwala na zrealizowanie rozproszonego systemu sterowania. Systemy te są podstawowym elementem nowoczesnej automatyki przemysłowej. Interfejs komunikacyjny PROFIBUS zapewnia spójny transfer danych pomiędzy urządzeniami polowymi, a poszczególnymi hierarchicznymi poziomami automatyzacji łącznie z poziomem zarządzania zakładem. Sieć przemysłowa PROFIBUS pozwala realizować zdecentralizowane systemy sterowania w czasie rzeczywistym (systemy krytyczne czasowo), integrację urządzeń peryferyjnych oraz sterowanie w obszarach zagrożonych wybuchem. Dodatkowo interfejs ten jest zestandaryzowany (IEC61158, IEC61784) i otwarty, tzn. pozwala na integrację innych systemów sieciowych np. PROFINET, MODBUS, HART, MPI, itp., [3, 5].

Standard PROFIBUS wyróżnia kilka profili/protokołów: PROFIBUS DP (ang. *Decentralized Peripheral*), PROFIBUS PA (ang. *Process Automation*) i aktualnie wycofany PROFIBUS FMS (ang. *Fieldbus Message Specification*) [3]. System PROFIBUS DP to podstawowy interfejs sieciowy do komunikacji sterowników PLC i urządzeń peryferyjnych np. odległych wejść/wyjść. Podstawowy tryb pracy to szybka, cykliczna wymiana danych procesowych pomiędzy stacją nadrzędną (master) i węzłami podrzędnymi (slave). Struktura interfejsu sieci PROFIBUS DP opiera się na modelu OSI (ang. *Open System Interconnection*) opracowanym przez Międzynarodową Organizację Normalizacyjną [18, 20, 21]. Zasada działania sieci PROFIBUS DP opiera się na wykorzystaniu algorytmu przekazywania prawa dostępu do sieci pomiędzy stacjami nadrzędnymi typu DP Master. Prawo nadawania określane tutaj jako znacznik/żeton (ang. *token*) przekazywane jest zawsze do stacji master o wyższym adresie sieciowym. W ten sposób powstaje logiczny pierścień przekazywania znacznika pomiędzy stacjami master (ang. *token ring*). Stacje podrzędne DP Slave nie mają możliwości aktywnego dostępu do medium, tzn. nie mogą generować/wysyłać zapytań, a jedynie odpowiadać na żądania stacji DP Master. Algorytm typu master-slave oraz protokół DP pozwalają w pełni wykorzystać potencjał rozproszonego systemu sterowania. Protokół sieci PROFIBUS DP składa się z kilku warstw określających jego funkcjonalność, wyróżniamy [1÷3, 18]:

- DP-V0 dla cyklicznej wymiany danych procesowych i diagnostyki sieci,
- DP-V1 dla komunikacji acyklicznej z wieloma rozszerzeniami, np. przesyłania alarmów, PROFIsafe,
- DP-V2 dla izochronicznej wymiany danych procesowych, komunikacji *slave-to-slave*, komunikacji z synchronizacją zegara oraz przesyłanie komunikatów bez potwierdzenia do wszystkich stacji w sieci, w tym rozgłoszenia (ang. *broadcast*).

W tym rozdziale zostanie szczegółowo opisany system PROFIBUS DP na potrzeby projektowania, programowania, uruchamiania i diagnostyki sieci przemysłowej. Opisano tutaj najważniejsze aspekty warstwy fizycznej protokołu (okablowanie, złącza, terminatory linii, wzmacniacze) oraz wymogi i zalecenia instalacyjne osprzętu sieciowego. Następnie przedstawiono protokół sieci DP i jego działanie, zwrócono tutaj uwagę na realizację cyklu sieci, parametry magistrali oraz strukturę ramek danych. W końcowej części rozdziału opisano charakterystykę urządzeń sieciowych definiowaną przez producenta (pliki .GSD) oraz metody diagnostyki węzłów sieciowych. Diagnostyka sieci DP została opisana na poziomie warstwy fizycznej oraz na poziomie protokołu (z wykorzystaniem narzędzi inżynierskich).

1.1. Warstwa fizyczna

W warstwie fizycznej modelu OSI, protokół PROFIBUS DP wykorzystuje interfejs RS485 lub światłowód. Komunikacja bezprzewodowa np. poprzez podczerwień, czy fale radiowe jest możliwa, ale nie jest objęta standardem – nie jest znormalizowana.

1.1.1. Media transmisyjne

Jako media przenoszące sygnał w sieci PROFIBUS mogą być stosowane:
- przewody miedziane (skrętka ekranowana) typu A lub B,
- przewody światłowodowe (szklane lub plastikowe, jednomodowe lub wielomodowe) (ang. *fiber optic,* FO),
- eter – podczerwień lub fale radiowe – nie wspierane przez standard DP.

Najczęściej wykorzystywanym medium transmisji jest przewód miedziany typu A. Najważniejsze parametry przewodu typu A są następujące [1÷3]:
- budowa: ekranowana skrętka dwóch przewodów,
- impedancja falowa: 150Ω +/- 10% (3÷20MHz),
- rezystancja w pętli 110Ω/km,
- przekrój żyły: 0.64 mm^2,
- pojemność <30pF/m.

Połączenie przewodowe w sieci PROFIBUS DP definiuje dwie linie transmisji danych:
- linia A (oznaczana kolorem zielonym) jest to linia danych (ujemna) typu RxD/TxD – N,
- linia B (oznaczana kolorem czerwonym) jest to linia danych (dodatnia) typu RxD/TxD – P.

Ze względu na zastosowanie i wymagania aplikacji przemysłowych wyróżniamy następujące rodzaje przewodów komunikacyjnych stosowanych w systemie PROFIBUS [18, 23]:
- FC Standard Cable GP – przewód standardowy GP (ang. *general purpose*), magistralowy przeznaczony do szybkiej instalacji,
- FC Standard Cable IS GP – przewód standardowy, magistralowy przeznaczony do szybkiej instalacji w środowiskach zagrożonych wybuchem,
- FC Robust Cable – przewód specjalny, przeznaczony do instalacji w środowisku wywołującym korozję oraz w trudnych warunkach mechanicznych,
- FC Food Cable – przewód specjalny, przeznaczony do stosowania w aplikacjach przemysłu spożywczego, opona przewodu wykonana z PE (polietylen),
- FC Ground Cable – przewód specjalny, przeznaczony do układania w ziemi, przewód z dodatkową osłoną,
- FC Flexible Cable – przewód specjalny, przeznaczony do stosowania w aplikacjach ze sporadycznymi ruchami maszyny, wykonany w formie linki w osłonie PUR (poliuretan),
- FC FRNC Cable GP – przewód trudnopalny, wykonany w oponie kopolimerowej (ang. *Flame Retardent Non Corrosive*) – trudno palny, nie korodujący – przeznaczony do instalacji w budynkach,
- FC Trailing Cable – przewód wysokoelastyczny (linka), odporny na ciągłe odkształcenia, przeznaczony do stosowania w instalacjach wymagających ciągłego przemieszczania się elementów maszyn,
- Festoon Cable GP – przewód elastyczny (linka), odporny na ciągłe odkształcenia, przeznaczony do stosowania w instalacjach z prowadnicami łańcuchowymi,
- Torsion Cable – przewód specjalny wysokoelastyczny (linka), odporny na ciągłe odkształcenia, przeznaczony np. do stosowania w aplikacjach sterowania manipulatorami i robotami,

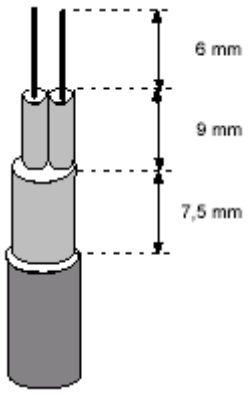
- Hybrid Cable – przewód specjalny, wytrzymały, odporny na odkształcenia, zasilanie i sygnał realizowany odrębnymi parami przewodów,
- SIENOPYR FR Marine Cable – przewód specjalny, niekruczący się, trudnopalny, przeznaczony do stosowania w aplikacjach sterowania na statkach/platformach morskich.

1.1.2. Uwagi instalacyjne

Przewód komunikacyjny należy instalować zgodnie z zaleceniami producenta opisanymi w normie EN 50170 [1]. Podczas łączenia przewodu komunikacyjnego ze złączką należy:

- przygotować końcówkę przewodu zgodnie z rysunkiem 1.1,
- otworzyć obudowę złączki przy pomocy śrubokręta,
- włożyć przewód A i przewód B do otworów złączki,
- zacisnąć osłonę przewodu,
- upewnić się że osłona przewodu dobrze kontaktuje z „zaciskaczem" osłony,
- upewnić się czy wypełniacz/folia nie pokrywa osłony przewodu,
- jeśli złączka jest ostatnią w segmencie włączyć rezystancję terminatora.

Prawidłowe zakończenie przewodu do połączenia ze złączką pokazuje rysunek 1.1.



Rys. 1.1. Przygotowanie końcówki przewodu do połączenia ze złączką [26, 27]

Podczas montażu i okablowywaniu systemu sieci zasilania PROFIBUS należy przestrzegać następujących zaleceń:

- Upewnić się, czy przy podłączaniu przewodów w systemie przestrzegane są wszystkie obowiązujące normy. Podczas instalacji i w trakcie eksploatacji urządzeń należy również przestrzegać krajowych i regionalnych przepisów.
- Należy używać przewodów o średnicy odpowiedniej do danego natężenia prądu. Urządzenia można okablować przy pomocy przewodów o średnicy między 0.5 mm^2 oraz 1.5 mm^2.
- Nie należy zaciskać zbyt mocno zacisków przyłączowych. Maksymalny moment obrotowy dla tych zacisków wynosi 0.56 Nm.
- Przewody należy zakładać parami: przewód neutralny lub zerowy razem z przewodem fazowym lub sygnałowym.
- Przewody z prądem zmiennym i przewody wysokonapięciowe z prądem stałym należy oddzielić.
- Wszystkie przewody należy oznaczyć, a następnie poprowadzić do urządzenia, które ma zostać podłączone. Należy się upewnić, czy przewody mają wymagane odciążenie.
- Instalację z przewodami zagrożonymi przepięciami w wyniku uderzenia piorunów należy zaopatrzyć w odpowiednią ochronę przepięciową.

Wskazówki dotyczące uziemiania i napięcia odniesienia galwanicznie rozdzielonych obwodów elektrycznych.

Przy uziemianiu i przy ustalaniu napięcia odniesienia galwanicznie rozdzielonych obwodów elektrycznych należy przestrzegać następujących wskazówek:

- Dla każdego obwodu elektrycznego w instalacji należy ustalić punkt odniesienia (0 Voltów), oddalony od punktów, w których mogą stykać się obwody o różnych napięciach odniesienia. Takie połączenia mogą prowadzić do niepożądanego przepływu prądu i w związku z tym być przyczyną wadliwego działania obwodów i powstawania szkód w układzie połączeń. Częstą przyczyną powstawania odmiennych napięć odniesienia są mocno oddalone od siebie punkty uziemienia.
- Punkty odniesienia uziemienia i granice potencjałów należy wybrać w ten sposób, aby przerwać nadmiarowe pętle obwodów elektrycznych i tym samym odłączyć je jako niepożądane źródła indukcyjne. Należy uwzględnić również tymczasowe połączenia, które tworzą nowe obwody odniesienia, jak np. przyłączenie do CPU programatora.
- Przy wyborze punktów uziemienia należy przestrzegać odpowiednich przepisów bezpieczeństwa i zapewnić prawidłowe działanie instalacji ochronnych, przerywających obwody elektryczne.

Ponadto należy pamiętać, że:

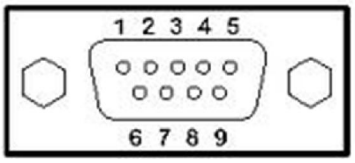
- Napięcie odniesienia dla układów logicznych procesora równe jest napięciu zasilania prądu stałego.
- Napięcie odniesienia dla interfejsów komunikacyjnych równe jest napięciu odniesienia układów logicznych procesora (nie jest to prawdziwe dla interfejsu DP - jako urządzenia peryferyjnego).
- Wejścia i wyjścia analogowe nie są galwanicznie oddzielone od układów logicznych procesora. Wejścia analogowe zostały wyprowadzone w pełni różnicowo, aby zapewnić tłumienie napięć równoległych w przypadku niskich napięć.
- Układy logiczne procesora zostały galwanicznie rozdzielone z uziemieniem do 100 V (prąd stały).
- Wejścia i wyjścia cyfrowe prądu stałego zostały galwanicznie rozdzielone z układami logicznymi procesora do 500 V (prąd przemienny).
- Grupy wejść i wyjść cyfrowych zostały galwanicznie rozdzielone między sobą do 500 V (prąd zmienny). Wyjścia przekaźników oraz wejścia i wyjścia prądu zmiennego zostały galwanicznie rozdzielone z układami logicznymi procesora do 1500 V (prąd zmienny).
- Przewody fazowe i przewody neutralne zasilacza prądu zmiennego zostały galwanicznie rozdzielone z uziemieniem, układami logicznymi procesora i wszelkimi modułami rozszerzającymi do 1500 V (prąd zmienny).

1.1.3. Złącza

Podstawowe złącza wykorzystywane przez przewodową transmisję w sieci PROFIBUS DP można podzielić na:

- złącze M12 stosowane w przypadku urządzeń spełniających wymagania ochrony na poziome IP65/67. Wykorzystuje ono 5 lub częściej 4 piny kolejno: VP (napięcie zasilania dla wzmacniaczy równe 5VDC), RxD/TxD – N, DGND (potencjał odniesienia równy 0V), RxD/TxD – P,
- złącze DB9 stosowane jako podstawowe, w którym standard PROFIBUS DP wymaga użycia minimalnie 4 pinów jak w złączu M12.

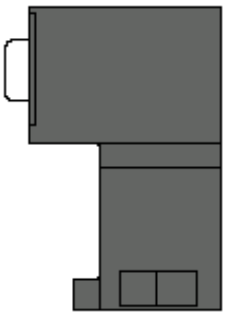
Najczęściej używane jest złącze DB9. Charakterystyka złącza DB9 została przedstawiona na rysunku 1.2. Złącze zawiera 9 pinów. Specyfikacja PROFIBUS DP wymaga użycia 4 pinów o numerach kolejno: 6, 3, 8 i 5.



Pin	Sygnał PROFIBUS DP
1	Ekran
2	24V masa
3	RS-485 sygnał B
4	Gotowość nadawania
5	5V masa
6	+5V
7	+24V
8	RS-485 sygnał A
9	Nie podłączony

Rys. 1.2. Opis pinów złącza DB9

Przewód komunikacyjny podłączony jest do urządzeń za pomocą złączek tzw. ang. *bus conector*. Standardowy typ złączki z integrowanym terminatorem przedstawiono na rysunku 1.3.



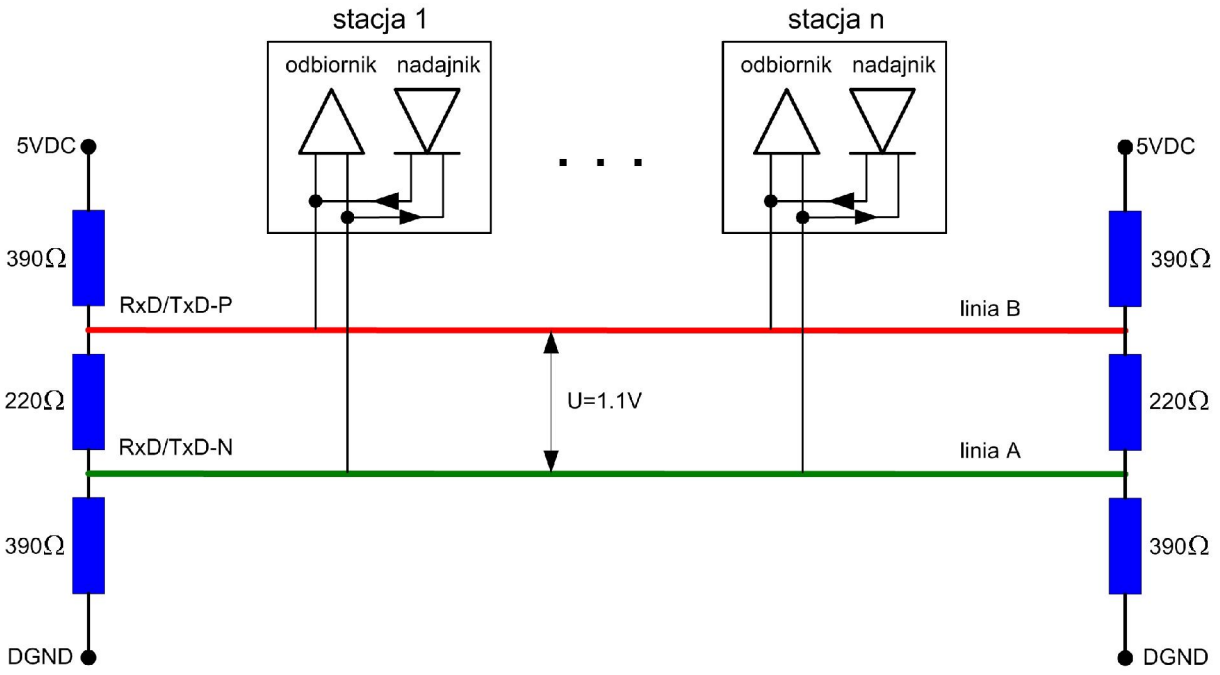
Rys. 1.3. Złączka magistralowa sieci PROFIBUS DP [26]

1.1.4. Układ połączeń

Układ połączeń interfejsu RS485 dla PROFIBUS DP opiera się na przesyłaniu danych liniami RxD/TxD-P i RxD/TxD-N [14, 15]. Najważniejsze cechy interfejsu RS485 wykorzystywane przez protokół PROFIBUS DP są następujące:

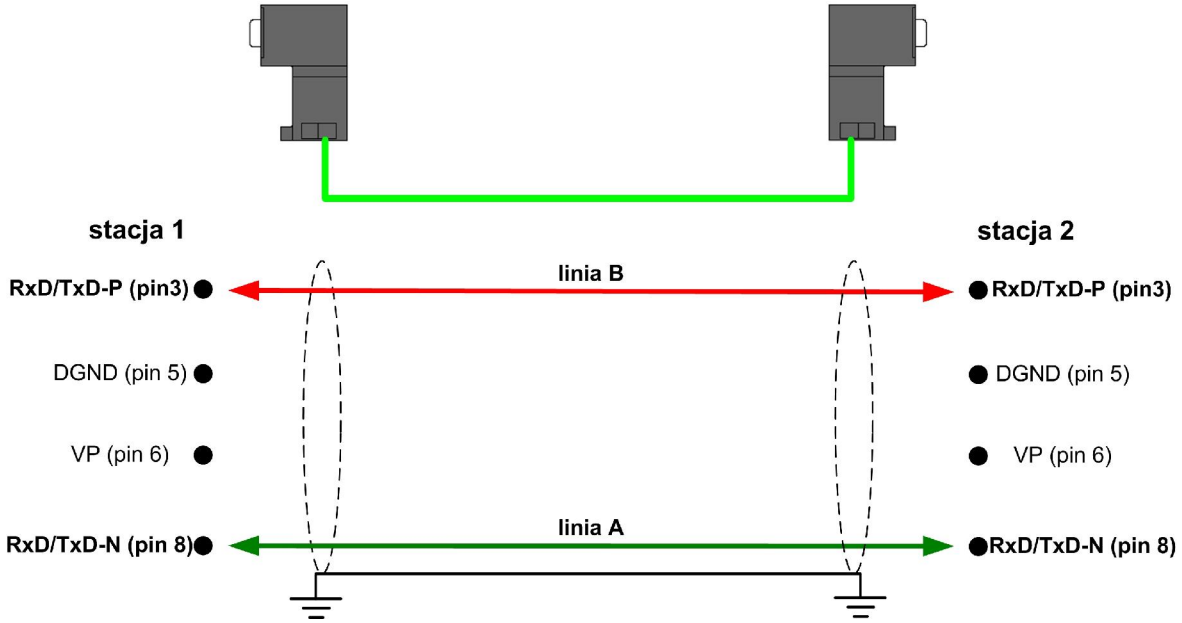
- informacja w postaci stanów logicznych (niski/wysoki, ang. *low/high*) jest kodowana w postaci napięcia różnicowego,
- poziom sygnału odniesienia (napięcie spoczynkowe) tzw. poziom ciszy wynosi 1.1V. Poziom napięcia spoczynkowego jest określany przez różnicę potencjałów w układzie trzech rezystorów zasilanych napięciem 5VDC, tzw. terminator,
- poziom napięcia różnicowego (przenoszącego informację), który dla RS485 wynosi 0.3V, powinien zawierać się w przedziale od 2.5 do 7.2V,
- specyfikacja RS485 ogranicza maksymalne obciążenie interfejsu/nadajnika do 32 urządzeń dołączonych do jednego przewodu. Ewentualne rozszerzenie liczby stacji (wyposażonych w RS485) wymaga zastosowania wzmacniaczy sygnału.

Schemat połączenia stacji wyposażonych w interfejs RS485 w sieci PROFIBUS DP został przedstawiony na rysunku 1.4.



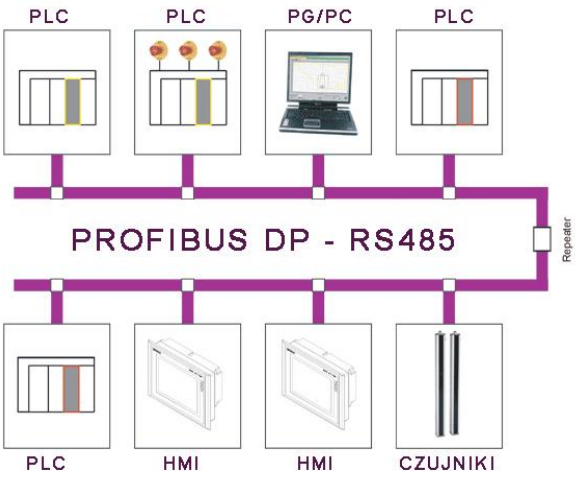
Rys. 1.4. Schemat połączeń interfejsów RS485 [27]

Złącze PROFIBUS wykorzystujące interfejs RS485 wykorzystuje piny połączone bezpośrednio (bez przekrosowania żył przewodów), ekran kabla jest łączony z uziemieniem w każdej stacji połączonej w sieci. Przykład połączenia pinów sygnałowych pomiędzy dwoma stacjami przedstawiono na rysunku 1.5.



Rys. 1.5. Połączenie pinów interfejsu RS485 [27]

Wykorzystanie standardu RS485 pozwala na integrację różnych urządzeń wyposażonych w interfejs DP. Przykładowa konfiguracja urządzeń w sieci PROFIBUS DP została przedstawiona na rysunku 1.6.

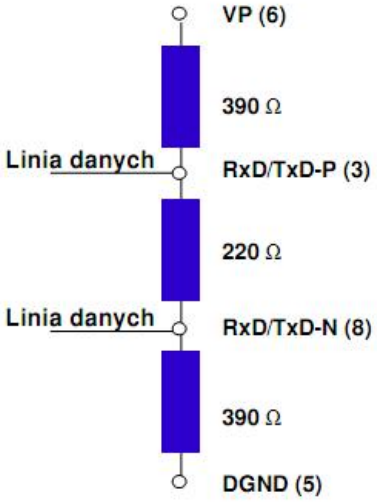


Rys. 1.6. Urządzenia połączone interfejsem RS485 [27]

1.1.5. Terminatory linii

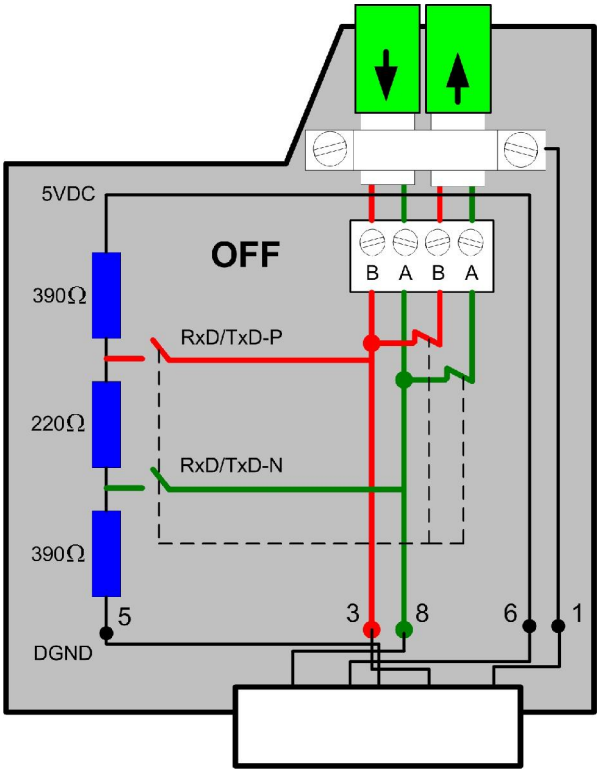
W sieci PROFIBUS DP urządzenia podłączone do jednego przewodu stanowią segment sieci, który na obu końcach musi być zakończony zasilanym terminatorem (rysunek 1.7). Podstawowe zadania terminatora są następujące:

- terminator jest stosowany w celu zapobiegania odbijania się sygnału od końców segmentu,
- terminator definiuje napięcie spoczynkowe (poziom 1.1V), które jest wynikiem spadku napięcia na jednym z trzech rezystorów połączonych szeregowo o wartościach kolejno 390Ω, 220Ω i 390Ω. Terminator musi być zasilany napięciem 5VDC,
- w jednym segmencie sieci muszą być aktywne dwa terminatory znajdujące się na końcach segmentu,
- parametry terminatora są dobrane do parametrów przewodu.



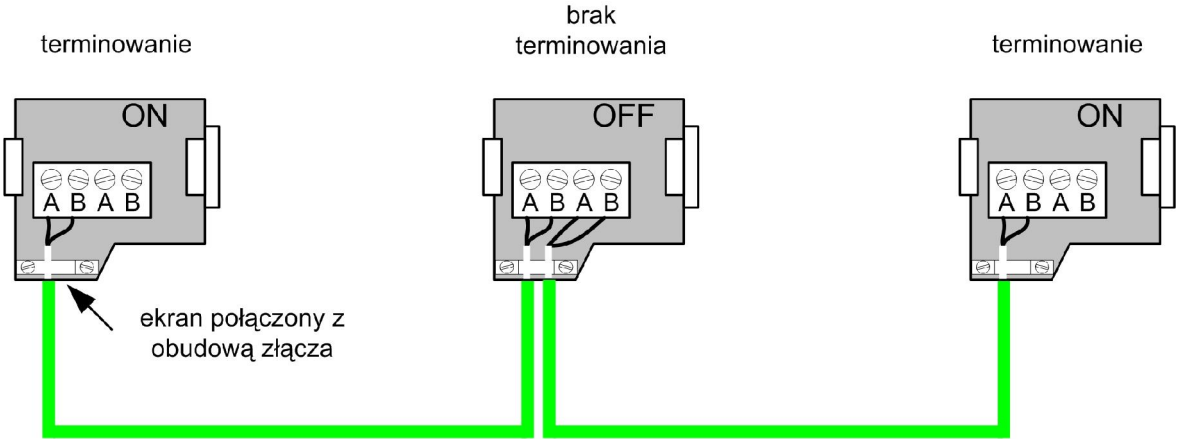
Rys. 1.7. Okablowanie i terminator dla RS-485 [27]

Stosowane są różne typy/rozwiązania terminatorów. W praktyce stosuje się często terminatory wbudowane w złącze/konektor PROFIBUS DP. Stosowane są także tzw. terminatory aktywne, wykonane w postaci niezależnego elementu wymagającego zewnętrznego zasilania. Włączenie terminatora oznacza praktycznie odłączenie przewodu komunikacyjnego od zacisków wyjścia z konektora, rysunek 1.8.



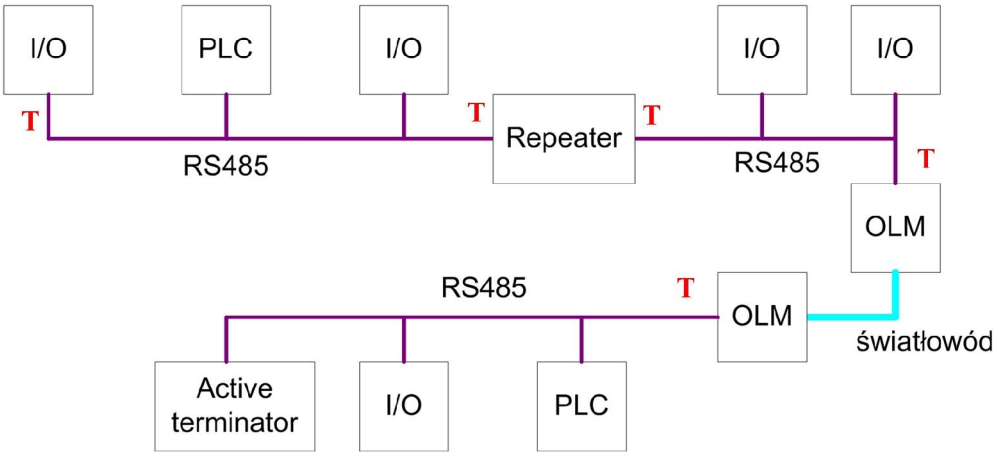
Rys.1.8. Schemat działania terminatora wbudowanego w konektor PROFIBUS, pozycja OFF [28]

Poprawne ekranowanie i zakończenie segmentu przewodu sieciowego (terminowanie linii) dla typowych elementów sieciowych przedstawiono na rysunku 1.9.



Rys. 1.9. Terminowanie segmentu sieci [28]

Przykład poprawnego terminowania segmentów sieci przedstawiono na rysunku 1.10.



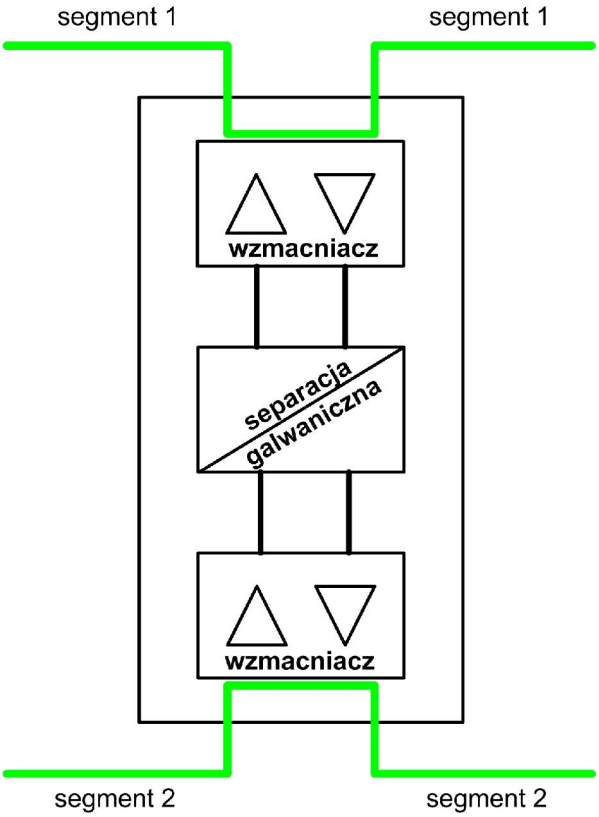
Rys. 1.10. Przykład konfiguracji sieci z terminatorami segmentów

1.1.6. Wzmacniacze

W przypadku sieci zbudowanych z wielu segmentów, każdy segment sieci jest oddzielony poprzez wzmacniacz/powtarzacz sygnału (ang. *repeater*). Podstawowe zadania i cechy charakterystyczne wzmacniacza są następujące:

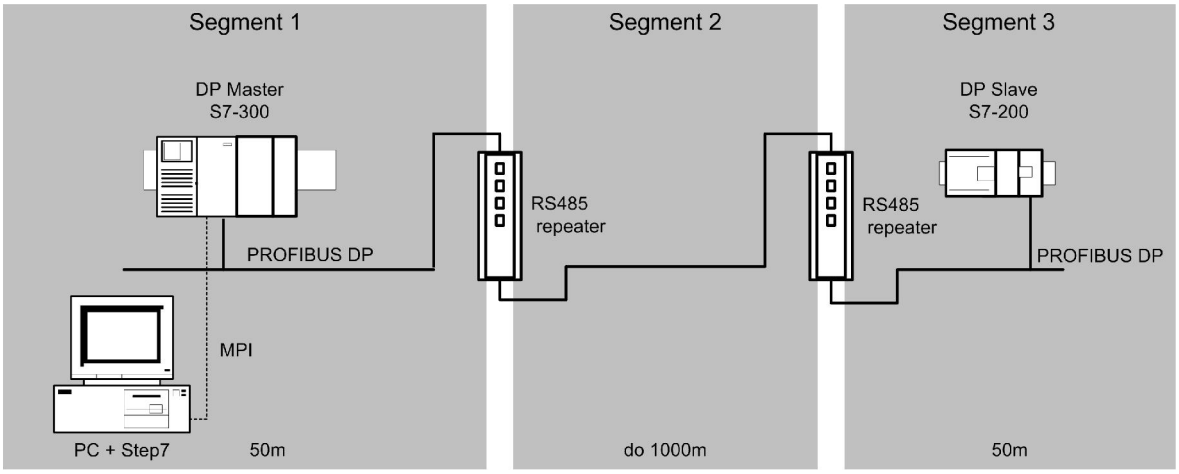
- zapewnia wzmocnienie sygnału transmisji, co pozwala na dodanie dodatkowego segmentu sieci (dodatkowe 32 urządzenia wyposażone w interfejs RS485),
- zapewnia regenerację sygnału transmisji – poprawia jego jakość,
- zapewnia izolację galwaniczną (poprzez opto-tranzystory) pomiędzy łączonymi segmentami,
- jest urządzeniem nie wymagającym adresowania w sieci (niewidocznym dla protokołu DP),
- wymaga dodatkowego zasilania,
- może udostępniać dane diagnostyczne,
- może być przyczyną wielu problemów związanych z komunikacją na poziomie warstwy fizycznej, np. poprzez brak jego zasilania, błędną lokalizację w segmencie sieci,
- powoduje nieznaczne opóźnienie sygnału transmisji na poziomie kilku t_{bit} – czas potrzebny do przesłania jednego bitu informacji,
- dopuszcza się połączenie max. 9 wzmacniaczy pomiędzy dwoma dowolnym urządzeniami w sieci DP,
- wzmacniacz wielokanałowy (koncentrator) pozwala na zastąpienie topologii sieci liniowej na gwiaździstą. Topologia gwiazdy pozwala na separację urządzeń co wykorzystuje się często w przypadku urządzeń pracujących w strefie silnych zakłóceń.

Na rysunku 1.11 przedstawiono schemat budowy wzmacniacza dwukanałowego RS485. Powtarzacz sygnału jest łącznikiem dwóch segmentów, oprócz wzmocnienia/regeneracji sygnału zapewnia galwaniczną (bezstykową) izolację pomiędzy segmentami sieci.



Rys. 1.11. Budowa i dzianie wzmacniacza [28]

Na rysunku 1.12. przedstawiono przykład zastosowania wzmacniaczy (system SIMATIC). Każdy wzmacniacz liczy się jako węzeł kończący lub rozpoczynający segment.



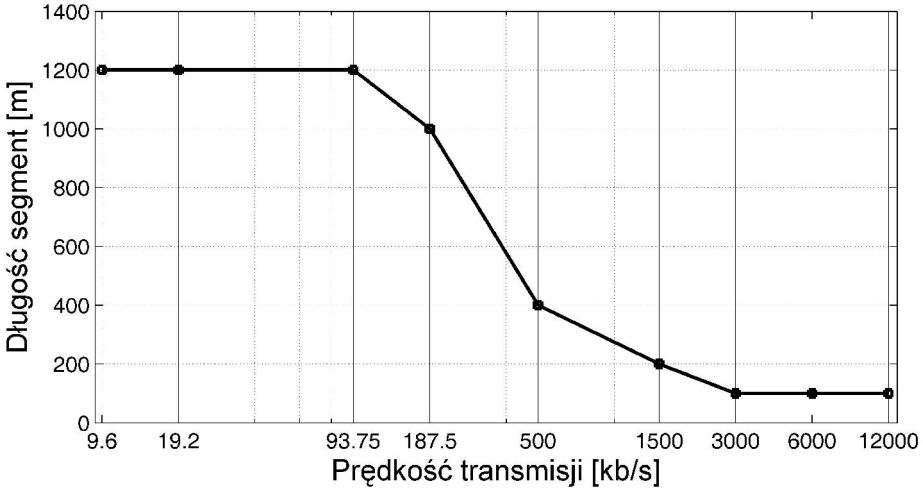
Rys. 1.12. Zastosowanie wzmacniacza linii

1.1.7. Prędkość transmisji danych

Standard PROFIBUS DP definiuje prędkość transmisji danych następująco [1÷3]:

- dostępnych jest 10 prędkości: 9,6Kbit/s, 19.2Kbit/s, 45.45Kbit/s, 93.75Kbit/s, 187.5Kbit/s, 0.5Mb/s, 1.5Mb/s, 3Mb/s, 6Mb/s, 12Mb/s,
- prędkość transmisji jest taka sama dla wszystkich urządzeń w sieci i jest narzucana przez stację aktywną (DP master),
- nie wszystkie stacje obsługują prędkości transmisji powyżej 1.5Mb/s,

- prędkość transmisji ma główny wpływ na czas cyklu sieci, który nie jest stały i w uproszczeniu zależy od prędkości odpowiedzi poszczególnych stacji w sieci,
- czas przesłania jednego bitu informacji w sieci wynosi w przybliżeniu od 0.08μs do 0.1ms,
- prędkość transmisji ma główny wpływ na długość sieci. Zależność ta jest przedstawiona na rysunku 1.13.



Rys. 1.13. Zależność długości segmentu sieci od prędkości transmisji, dla przewodu typu A

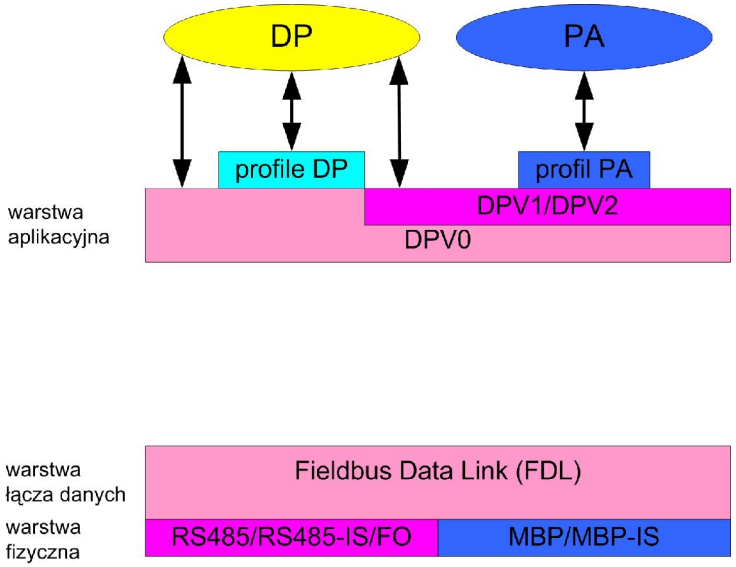
1.1.8. Zakłócenia na poziomie warstwy fizycznej

Najczęstsze zakłócenia w sieci wykorzystującej miedziany przewód dwużyłowy są następujące:
- zakłócenia elektromagnetyczne od maszyn wirnikowych, silników, itp.,
- zakłócenia poprzez sprzężenie pojemnościowe z linii zasilającej wynikające z zbyt małej odległości pomiędzy linią sygnałową a linią zasilającą (przewodnik – linia zasilająca -> powietrze -> przewodnik – linia sygnałowa),
- zakłócenia poprzez sprzężenie indukcyjne z linii zasilającej wynikające z zbyt małej odległości pomiędzy linią sygnałową a linią zasilającą (wynikające z tego, że linia zasilająca przenosi sygnał prądowy o zmiennej amplitudzie),
- zakłócenia poprzez wyładowania atmosferyczne.

Eliminacja zakłócenia pojemnościowego odbywa się poprzez zastosowanie ekranowania, natomiast zakłócenia indukcyjnego poprzez skręcenie przewodów sygnałowych.

1.2. Protokół sieci PROFIBUS

Protokół sieci PROFIBUS używa 3 warstw modelu OSI [9, 13, 22]. Są to warstwy: fizyczna, łącza danych i aplikacyjna. Warstwa aplikacyjna jest rozszerzeniem protokołu PROFIBUS, w której działają profile DPV0-DPV2. W warstwie aplikacyjnej pracował także profil komunikacyjny FMS (ang. *Fieldbus Message Specification*), który aktualnie został wycofany. Architektura protokołu PROFIBUS została przedstawiona na rysunku 1.14.

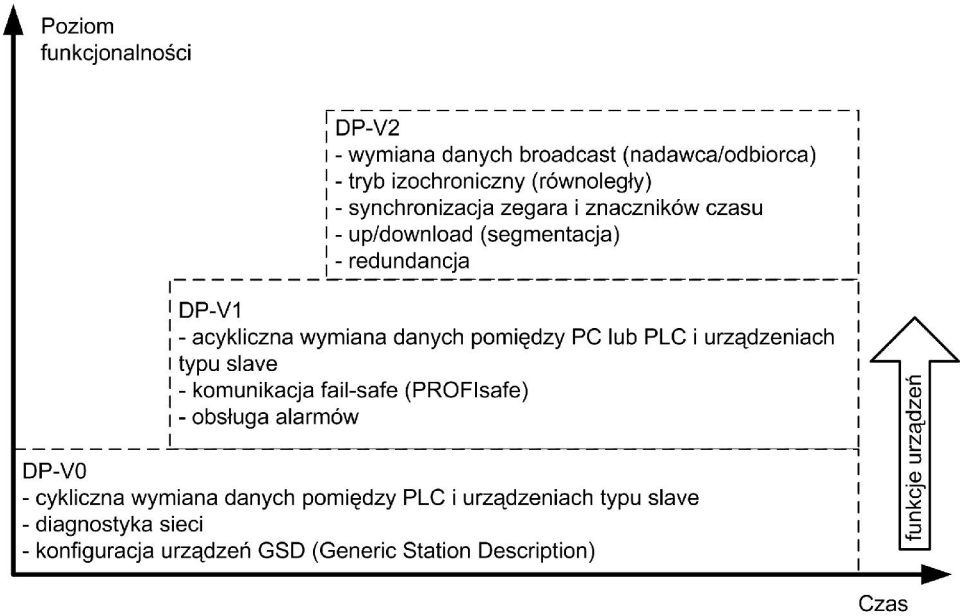


Rys. 1.14. Architektura protokołu PROFIBUS [1÷3]

Cechy protokołu:

- PROFIBUS DP i PA używają tej samej warstwy łącza danych FDL (ang. *Field-bus Data Link),*
- PROFIBUS DP i PA używają wspólnego protokołu DPV0,
- PROFIBUS DP pracuje w warstwie fizycznej na protokole szeregowym RS485 kodującego bity poprzez napięcie różnicowe przekazywane w dwóch liniach przewodu miedzianego, który może być iskrobezpieczny (RS485-IS) lub działać na światłowodzie FO (ang. *Fiber Optic*),
- PROFIBUS PA pracuje w warstwie fizycznej na protokole MBP (ang. *Manchester Bus Powered*), który może być iskrobezpieczny (MBP-IS).

Funkcje poszczególnych wersji/klas PROFIBUS DP zostały przedstawione na rysunku 1.15.



Rys. 1.15. Funkcje poszczególnych wersji/klas PROFIBUS DP [1÷3]

Protokół PROFIBUS PA został zaprojektowany z myślą o zastosowaniach w zagrożonych wybuchem instalacjach przemysłu petrochemicznego. Wykorzystuje ten sam protokół warstwy łącza danych co PROFIBUS DP. W warstwie fizycznej wykorzystuje obniżone napięcie i prąd zasilania, czego

konsekwencją jest również inne kodowanie bitów danych (tzw. kod Manchester) i stała szybkość transmisji równa 31.25kbit/s. Segmenty sieci PROFIBUS PA, w których pracują urządzenia peryferyjne, są łączone przez specjalne łączniki do segmentów sieci DP, w których pracują sterowniki PLC. Łącznik DP/PA jest mostkiem, który zmienia sposób kodowania sygnałów oraz buforuje ramki danych w celu dopasowania szybkości transmisji w obu segmentach.

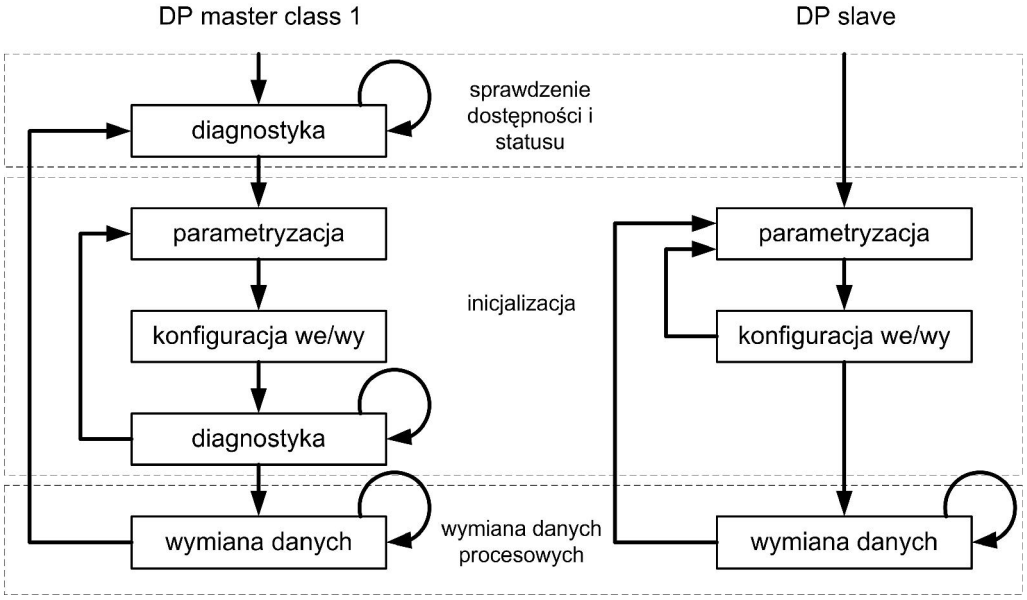
1.2.1. Liczba urządzeń w sieci PROFIBUS DP

Podstawowe cechy dotyczące urządzeń i ich liczby dla sieci PROFIBUS DP są następujące:

- z względu na specyfikację RS485 max. liczba urządzeń (z interfejsem RS485) w segmencie sieci wynosi 32,
- maksymalna liczba stacji adresowanych w sieci wynosi 127 (przestrzeń adresowa od 0 do 126),
- w sieci DP może maksymalnie pracować 126 stacji aktywnych (DP master),
- adres 127 jest zarezerwowany jako adres rozgłoszeniowy,
- adres 0 jest często zarezerwowany dla programatora, którym może być komputer osobisty lub programator PC/PG (ang. *personal computer/programmable device*),
- urządzenia typu: OLM (ang. *Optical Link Module*), OBT (ang. *Optical Bus Terminal*), wzmacniacze, aktywne terminatory – nie wymagają adresowania,
- liczba urządzeń typu powtarzacz sygnału jest ograniczona do 9,
- liczba slotów dla danej stacji jest ograniczona do 64.

1.2.2. Cykl pracy sieci PROFIBUS DP

Cykl pracy sieci PROFIBUS DP składa się z kilku operacji, które można podzielić na trzy grupy: sprawdzenie dostępności i statusu, inicjacja, wymiana danych procesowych. Stacja aktywna DP Master przed przejściem w tryb wymiany danych z stacją DP Slave realizuję fazę inicjacji komunikacji. W fazie tej realizowane jest przesyłanie danych parametrycznych, sprawdzenie konfiguracji i diagnostyka stacji DP Slave. Dopiero po pomyślnym zakończeniu tej fazy, tzn. jeżeli DP Slave nie zgłasza błędu i jest gotowy do wymiany danych stacja Master rozpoczyna cykl wymiany danych procesowych. Cykl wymiany danych trwa nieprzerwanie aż do momentu np. odebrania od stacji Slave nowych informacji diagnostycznych przesyłanych wraz z danymi ale z wyższym priorytetem. Cykl sieci PROFIBUS DP został przedstawiony schematycznie na rysunku 1.16.



Rys. 1.16. Cykl sieciowy dla stacji DP Master klasy 1 i stacji DP Slave [1÷3, 23]

Biorąc pod uwagę cykl pracy sieci PROFIBUS DP, przykładowy wynik pracy stacji w sieci jest następujący:

FRAME	ADDRESS	SERVICE	MSG TYPE	REQ/RES	OBJAŚNIENIE
SD2	50->5	SRD_HIGH	GET DIAGNOSTICS	REQ	ŻĄDANIE DANYCH DIAGNOSTYCZNYCH PRZEZ STACJĘ AKTYWNĄ 50
SD2	50<-5	DL	GET DIAGNOSTICS	RES	ODPOWIEDŹ STACJI SLAVE 5 NA ŻĄDANIE DANYCH DIAGNOSTYCZNYCH
SD2	50->5	SRD_HIGH	SET PARAMETERS	REQ	ŻĄDANIE DANYCH PARAMETRYCZNYCH PRZEZ STACJĘ AKTYWNĄ 50
ACK			SHORT ACKNOWLEDGE	RES	POTWIERDZENIE OTRZYMANIA DANYCH
SD2	50->5	SRD_HIGH	CHECK CONFIG	REQ	ŻĄDANIE DANYCH KONFIGURACYJNYCH PRZEZ STACJĘ AKTYWNĄ 50
ACK			SHORT ACKNOWLEDGE	RES	POTWIERDZENIE OTRZYMANIA DANYCH
SD2	50->5	SRD_HIGH	GET DIAGNOSTICS	REQ	ŻĄDANIE DANYCH DIAGNOSTYCZNYCH PRZEZ STACJĘ AKTYWNĄ 50
SD2	50<-5	DL	GET DIAGNOSTICS	RES	ODPOWIEDŹ STACJI SLAVE 5 NA ŻĄDANIE DANYCH DIAGNOSTYCZNYCH
SD2	50->5	SRD_HIGH	DATA EXCHANGE	REQ	ŻĄDANIE DANYCH PROCESOWYCH
SD2	50<-5	DH	DATA EXCHANGE	RES	ODPOWIEDŹ NA ŻĄDANIE DANYCH PROCESOWYCH Z ZASYGNALIZOWANIEM DOSTĘPNYCH NOWYCH DANYCH DIAGNOSTYCZNYCH
SD2	50->5	SRD_HIGH	GET DIAGNOSTICS	REQ	ŻĄDANIE DANYCH DIAGNOSTYCZNYCH PRZEZ STACJĘ AKTYWNĄ 50
SD2	50<-5	DL	GET DIAGNOSTICS	RES	ODPOWIEDŹ STACJI SLAVE 5 NA ŻĄDANIE DANYCH DIAGNOSTYCZNYCH
SD2	50->5	SRD_HIGH	DATA EXCHANGE	REQ	ŻĄDANIE DANYCH PROCESOWYCH
SD2	50<-5	DL	DATA EXCHANGE	RES	ODPOWIEDŹ NA ŻĄDANIE DANYCH PROCESOWYCH
SD2	50->5	SRD_HIGH	DATA EXCHANGE	REQ	ŻĄDANIE DANYCH PROCESOWYCH
SD2	50<-5	DL	DATA EXCHANGE	RES	ODPOWIEDŹ NA ŻĄDANIE DANYCH PROCESOWYCH

1.2.3. Rodzaje urządzeń w sieci PROFIBUS DP

Klasy urządzeń i ich zadania w sieci PROFIBUS DP są następujące:

- stacja master klasy 1 (DP-MS1) – cykliczna wymiana danych procesowych np. PLC, sterownik numeryczny CNC, sterownik robota. W sposób cykliczny mogą być przekazywane także dane o parametryzacji, konfiguracji i funkcji kontrolnych,
- stacja master klasy 2 (DP-MS2) – acykliczna wymiana danych: diagnostyka, parametryzacja. Funkcjonalność klasy 2 oznacza wymianę informacji z partnerem na żądanie. Typowe dane wymieniane acyklicznie to: odczyt diagnostyki, ustawienie adresu stacji, odczyt konfiguracji, odczyt stanów we/wy, zapis/odczyt rekordów danych,
- stacja slave (DP slave) – cykliczna wymiana danych procesowych z stacją DP master, np. moduł rozproszonych we/wy, inteligentny moduł we/wy, urządzenie peryferyjne, urządzenie wykonawcze, enkoder, przepływomierz, wyspa zaworowa, itd. Stacja pasywna pobiera informacje z obiektu lub nim steruje w sposób cykliczny i wymienia dane procesowe z stacją master klasy 1. Stacja slave nie ma aktywnego dostępu do sieci DP.

W typowej sieci PROFIBUS DP masterem typu 1 są sterowniki PLC, a stacją master typu 2 jest programator lub konfigurator sieci PG/PC (ang. *programmable device/personal computer*).

1.3. Ramki protokołu PROFIBUS DP

Poniżej zostaną omówione ramki w protokole PROFIBUS DP.

1.3.1. Ramka o stałej długości – bez danych procesowych

Jest to ramka sprawdzająca status stacji (Request_FDL_Status), np. wyszukiwanie nowych stacji w sieci (skanowanie adresów zdefiniowanych w zakresie HSA) [21, 23]:

żądanie:

SD1	DA	SA	FC	FCS	ED

odpowiedź:

SD1	DA	SA	FC	FCS	ED

odpowiedź:

ACK

SD1 – znacznik początku,
DA – adres odbiorcy,
SA – adres nadawcy,
FC – kody sterujący,
FCS – suma kontrolna,
ED – znacznik końca,
ACK – potwierdzenie.

Każde pole w ramce ma rozmiar 1 bajtu, wartość pola jest zapisana w kodzie heksadecymalnym. Ramka SD1 służy do sprawdzenia dostępności stacji w sieci, oznacza to przepytywanie zakresu adresów zdefiniowanym w HSA (ang. *Highest Statation Address*). Suma kontrolna ramki wynosi: FCS=DA+SA+FC.

1.3.2. Ramka o zmiennej długości z polem danych

Ramka SD2 służy do przekazywania danych pomiędzy stacjami [21, 23]. Pola DSAP i SSAP pojawią się, jeżeli najstarszy bit w polu DA lub SA jest równy 1.

żądanie:

SD2	LE	LEr	SD2	DA	SA	FC	DU	FCS	ED
ZNACZNIK POCZĄTKU	DŁUGOŚĆ RAMKI	DŁUGOŚĆ RAMKI (POWTÓRZONA)		ADRES ODBIORCY	ADRES NADAWCY	KODY STERUJĄCE	DANE PROCESOWE OD 1 DO 244 BAJTÓW	SUMA KONTROLNA	ZNACZNIK KOŃCA

odpowiedź:

SD2	LE	LEr	SD2	DA	SA	FC	DU	FCS	ED

Rozmiar ramki SD2 w przypadku braku pola DSAP i SSAP wynosi 9 bajtów plus długość ramki DU (ang. *Data Unit*) z danymi procesowymi (od 1 do 244 bajtów).

żądanie

SD2	LE	LEr	SD2	DA	SA	FC	DSAP	SSAP	DU	FCS	ED

odpowiedź

SD2	LE	LEr	SD2	DA	SA	FC	DSAP	SSAP	DU	FCS	ED

Rozmiar ramki SD2 z polami DSAP i SSAP wynosi 11 bajtów plus długość ramki DU (tutaj to nie będą dane procesowe, a np. dane parametryczne, konfiguracyjne czy diagnostyczne, długość od 1 do 244 bajtów).

DSAP – numer portu komunikacyjnego u odbiorcy,
SSAP – numer portu komunikacyjnego u nadawcy.

Wartość pola FC jest następująca:

7	6	5	4	3	2	1	0
ZAREZERWOWANY	1	FCB	FCV				
	0	RODZAJ STACJI					
ZAREZERWOWANY	1-ZAPYTANIE 0-ODPOWIEDŹ	00-STACJA PASYWNA 01-STACJA AKTYWNA NIEGOTOWA 10-STACJA AKTYWNA GOTOWA DO ODEBRANIA ZNACZNIKA 11-STACJA AKTYWNA WYMIENIAJĄCA TOKEN		RODZAJ FUNKCJI PODANY W KOLEJNYM PUNKCIE			

1.3.3. Ramka przekazująca token

Ramka przekazująca znacznik/żeton (ang. *token*) ma długość 3 bajtów. Ramka służy do przekazywania znacznika, czyli prawa dostępu do sieci pomiędzy stacjami aktywnymi. Jeżeli w sieci działa tylko jedna stacja aktywna (master) to przekazuje ona znacznik samej sobie.

żądanie:

SD4	DA	SA
ZNACZNIK POCZĄTKU	ADRES ODBIORCY	ADRES NADAWCY

1.3.4. Usługi warstwy FDL

Usługi warstwy FDL są następujące:

- SDN – Send Data with No acknowledge – jednokierunkowe przekazywanie danych do jednej, grupy lub wszystkich stacji, odbiór nie jest potwierdzony,
- SRD – Send and Request Data – dwukierunkowa wymiana danych pomiędzy stacjami. Dane są przesyłane zawsze pomiędzy dwoma stacjami, odbiór jest potwierdzony.

1.3.5. Funkcje pola FC i SAP

Rodzaj funkcji przekazywanej w polu FC – dla zapytania:

7	6	5	4	3	2	1	0
	1	FCB	FCV	WARTOŚCI KODU HEKSADECYMALNE: 0-TIME EVENT 1-SEND DATA WITH ACKNOWLEDGE LOW (SDA LOW) 2-REZERWA 3-REZERWA 4- SEND DATA WITH NO ACKNOWLEDGE LOW (SDN LOW) 5- SEND DATA WITH ACKNOWLEDGE HIGH (SDA HIGH) 6- SEND DATA WITH NO ACKNOWLEDGE HIGH (SDN HIGH) 7-REZERWA/ŻĄDANIE DANYCH DIAGNOSTYCZNYCH			

	8-REZERWA 9-REQUEST FDL_STATUS WITH REPLAY A-ACTUAL TIME EVENT B-ACTUAL COUNTER EVENT C-SEND AND REQUEST DATA LOW (SRD LOW) D- SEND AND REQUEST DATA HIGH (SRD HIGH) E- REQUEST IDENT WITH REPLAY F-REQUEST LSAP STATUS WITH REPLAY

Rodzaj funkcji przekazywanej w polu FC – dla odpowiedzi:

7	6	5	4	3	2	1	0
	0	FCB	FCV	WARTOŚCI KODU HEKSADECYMALNE: 0-ACK POSITIVE 1-ACK NEGATIVE (FDL/FMA1/2-BŁĄD UŻYTKOWNIKA, BŁĄD INTERFEJSU) 2-ACK NEGATIVE-BRAK ZASOBÓW ABY WYSŁAĆ DANE 3-ACK NEGATIVE-USŁUGA NIE JEST AKTYWNA 4-REZERWA 5- REZERWA 6- REZERWA 7- REZERWA 8-ODPOWIEDŹ-DANE FDL/FMA/1/2, NISKI PRIORYTET, DANE PRAWIDŁOWE 9-ACK NEGATIVE-BRAK ODPOWIEDZI DANE FDL.FMA/1/2, DANE PRAWIDŁOWE A-ODPOWIEDŹ FDL, WYSOKI PRIORYTET, DANE PRAWIDŁOWE, B-REZERWA C-ODPOWIEDŹ FDL, WYSOKI, NISKI PRIORYTET, BRAK ZASOBÓW ABY WYSŁAĆ DANE D-ODPOWIEDŹ FDL, WYSOKI, WYSOKI PRIORYTET, BRAK ZASOBÓW ABY WYSŁAĆ DANE E-REZERWA F-REZERWA				

FCB – zanegowany bit inicjalizujący (ang. *Frame Count Bit*),
FCV – ważny bit inicjalizujący (ang. *Frame Count Bit Valid*).

Rozszerzenie adresu w postaci pola SAP występuje kiedy stacja nie wymienia danych procesowych. Pola SAP (ang. *Service Access Point*) wykorzystywane w PROFIBUS DP-V0 są następujące:

FUNKCJA DP	SSAP		DSAP	
DATAEXCHANGE	BRAK		BRAK	
CHECKCONFIG	62_{DEC}	$3E_{HEX}$	62_{DEC}	$3E_{HEX}$
SETPARAMETERS	62_{DEC}	$3E_{HEX}$	61_{DEC}	$3D_{HEX}$
GETDIAGNOSTICS	62_{DEC}	$3E_{HEX}$	60_{DEC}	$3C_{HEX}$
GETCONFIG	62_{DEC}	$3E_{HEX}$	59_{DEC}	$3B_{HEX}$
SETGLOBALCONTROL	62_{DEC}	$3E_{HEX}$	58_{DEC}	$3A_{HEX}$
READOUTPUTS	62_{DEC}	$3E_{HEX}$	57_{DEC}	39_{HEX}
READINPUTS	62_{DEC}	$3E_{HEX}$	56_{DEC}	38_{HEX}
SETSLAVEADDRESS	62_{DEC}	$3E_{HEX}$	55_{DEC}	37_{HEX}
MASTER-MASTER COMMANDS	54_{DEC}	36_{HEX}	54_{DEC}	36_{HEX}

Przykład:

68	05	05	68	A4	8F	6D	3C	3E	1A	16
SD2	LE	LER	SD2	DA: 1**010 0100** SLAVE: 36	SA: 1**000 1111** MASTER: 15	FC: 0110 1101 ZAPYTANIE	DSAP, SSAP GET DIAGNOSTICS			ED

1.3.6. Ramka parametryzacji

Ramka parametryzacji pozwala na obsługę parametrów urządzeń/stacji w sieci.

PARAMETRY PODSTAWOWE							PARAMETRY UŻYTKOWNIKA
BAJT 1	BAJT 2	BAJT 3	BAJT 4	BAJT 5	BAJT 6	BAJT 7	

bajt 1

7	6	5	4	3	2	1	0
LOCK_REQ	UNLOCK_REQ	SYNC_REQ – ZEZWOLENIE NA AKTYWACJĘ TRYBU SYNCHRONIZACJI WYJŚĆ	FREEZE_REQ – ZEZWOLENIE NA AKTYWACJĘ TRYBU SYNCHRONIZACJI WEJŚĆ	WD_ON – AKTYWACJA KONTROLI ODPYTYWANIA WATCHDOG	REZERWA	REZERWA	REZERWA
0	0	MOŻLIWA JEST ZMIANA MIN T_{SDR} POZOSTAŁE PARAMETRY BEZ ZMIAN					
0	1	DP SLAVE ZOSTAJE UDOSTĘPNIONY DLA INNYCH JEDNOSTEK DP MASTER					
1	0	DP SLAVE JEST NIEDOSTĘPNY DLA INNYCH JEDNOSTEK DP MASTER					
1	1	DP SLAVE JEST UDOSTĘPNIANY DLA INNYCH JEDNOSTEK DP MASTER					

bajt 2

7	6	5	4	3	2	1	0
WD_FACT_1 – DEFINICJA CZASU DLA UKŁADU KONTROLI ODPYTYWANIA (WATCHDOG) W STACJI DP SLAVE, CZAS TEN JEST OBLICZANY NASTĘPUJĄCO: T_{WD}=10MS*WD_FAC1*WD_FACT_2							

bajt 3

7	6	5	4	3	2	1	0
WD_FACT_2							

bajt 4

7	6	5	4	3	2	1	0
MIN T_{SDR} – MINIMALNY CZAS OCZEKIWANIA PRZED WYSŁANIEM ODPOWIEDZI PRZEZ STACJĘ DP SLAVE							

bajt 5

7	6	5	4	3	2	1	0
IDENT NUMBER HI – NUMER IDENTYFIKACYJNY STACJI (STARSZY BAJT)							

bajt 6

7	6	5	4	3	2	1	0
IDENT NUMBER LO – NUMER IDENTYFIKACYJNY STACJI (MŁODSZY BAJT)							

bajt 7

7	6	5	4	3	2	1	0
GROUP IDENT – IDENTYFIKATOR GRUPY URZĄDZEŃ (WYKORZYSTYWANY W TRAKCIE WYSYŁANIA ROZGŁOSZEŃ)							

Przykład:

68	19	19	68	A0	8F	5D	3D	3E
SD2	LE	LER	SD2	DA: 1**010 0000** SLAVE: 32	SA: 1**000 1111** MASTER: 15	FC: 0101 1101 ZAPYTANIE	DSAP, SSAP SET PARAMETERS	
B8	02	02	0B	08	18	00	00	
1011 1000 WATCHDOG AKTYWNY	WD_FACT_1 WD_FACT_2 T_{WD}=40MS		MIN T_{SDR}	ID SLAVE				

1.3.7. Ramka konfiguracji

Konfiguracja urządzenia jest wykonywana jednorazowo podczas inicjalizacji pracy. Dane konfiguracyjne są przekazywane przez jednostkę master dla stacji slave. Stacja slave potwierdza otrzymanie konfiguracji [23].

Ramka danych dla formatu standardowego:

7	6	5	4	3	2	1	0
SPÓJNOŚĆ: 0 – JEDNOSTKA 1 – CAŁOŚĆ	JEDNOSTKA: 0 – BYTE 1 – WORD	RODZAJ DANYCH: 0 0 – FORMAT SPECJALNY 0 1 – WEJŚCIA 1 0 – WYJŚCIA 1 1 – WEJŚCIA/WYJŚCIA		DŁUGOŚĆ DANYCH: 0 0 0 0 ->1			

Ramka dla formatu specjalnego:

7	6	5	4	3	2	1	0
WEJŚCIA/WYJŚCIA: 0 0 – BRAK WE/WY 0 1 – POJAWI SIĘ DODATKOWY BAJT DEFINIUJĄCY **WEJŚCIA** 1 0 – POJAWI SIĘ DODATKOWY BAJT DEFINIUJĄCY **WYJŚCIA** 1 1 – POJAWIĄ SIĘ DODATKOWE BAJTY DEFINIUJĄCE **WYJŚCIA I WEJŚCIA**		0 0 – FORMAT SPECJALNY		DŁUGOŚĆ DANYCH PRODUCENTA			

Ramka danych dla formatu specjalnego:

7	6	5	4	3	2	1	0
SPÓJNOŚĆ: 0 – JEDNOSTKA 1 – CAŁOŚĆ	JEDNOSTKA: 0 – BYTE 1 – WORD	DŁUGOŚĆ DANYCH: 0 0 0 0 0 0->1					

Przykłady ramek konfiguracyjnych:

a) C0 3F 3E:

C0:

11	00	0000
POJAWIĄ SIĘ DODATKOWE BAJTY DEFINIUJĄCE WYJŚCIA ORAZ WEJŚCIA	FORMAT SPECJALNY	

3F - wyjścia

00	11 1111
SPÓJNOŚĆ TYPU BAJT	32+16+8+4+2+1=63+1 = 64 BAJTY WYJŚĆ

3E - wejścia

00	11 1110
SPÓJNOŚĆ TYPU BAJT	62+1 = 63 BAJTY WEJŚĆ

b) C0 45 4B: 6 słów wyjść i 12 słów wejść

c) 42 40: 1 słowo wejść

d) 82 00: 1 bajt wyjść

e) 42 81: 2 bajty wejść

f) 42 00: 1 bajt wejść

h) 82 81: 2 bajty wyjść

1.3.8. Ramka z danymi diagnostycznymi

Rodzaje informacji diagnostycznych [1÷3, 23]:

DIAGNOSTYKA PODSTAWOWA (6BAJTÓW), NP. BŁĘDNA KONFIGURACJA STACJI	NAGŁÓWEK	OPCJONALNA DIAGNOSTYKA URZĄDZENIA, NP. BŁĄD PAMIĘCI EEPROM	NAGŁÓWEK	OPCJONALNA DIAGNOSTYKA MODUŁU, NP. DANE DIAGNOSTYCZNE Z SLOTU 4	NAGŁÓWEK	OPCJONALNA DIAGNOSTYKA KANAŁU, NP. PRZERWA W KANALE WEJŚCIOWYM

Ramka diagnostyki stacji:

DIAGNOSTYKA STACJI						DIAGNOSTYKA URZĄDZENIA		DIAGNOSTYKA MODUŁU		DIAGNOSTYKA KANAŁU	
BAJT 1	BAJT 2	BAJT 3	BAJT 4	BAJT 5	BAJT 6	NAGŁÓWEK1	MAX 63 BAJTY	NAGŁÓWEK2		NAGŁÓWEK3	

bajt 1

7	6	5	4	3	2	1	0
DIAG.MASTER_LOCK – STACJA PRZYPISANA DO INNEJ STACJI MASTER (USTAWIANY PRZEZ MASTER)	DIAG.PRM_FAULT – BŁĘDNE PARAMETRY, NP. NUMER INDENTYFIKACYJNY	DIAG.INVALID_SLAVE_RESPONSE – NIEWŁAŚCIWA ODPOWIEDŹ (USTAWIANY PRZEZ STACJĘ MASTER)	DIAG.NOT_SUPPORTED – FUNKCJA NIE MOŻE BYĆ WYKONANA PRZEZ STACJE SLAVE	DIAG.EXT_DIAG – DOSTĘPNA JEST DIAGNOSTYKA ROZSZERZONA	DIAG.CFG_FAULT – BŁĄD DANYCH KONFIGURACYJNYCH	DIAG.STATION_NOT_READY – STACJA NIE JEST GOTOWA DO WYMIANY DANYCH	DIAG.STATION_NON_EXIST – STACJA NIE ODPOWIADA

bajt 2

7	6	5	4	3	2	1	0
DIAG.DEACTIVATED – STACJA NIEAKTYWNA (USTAWIANY PRZEZ MASTER)	REZERWA	DIAG.SYNC_MODE – STACJA SLAVE PRACUJE W TRYBIE SYNC	DIAG.FREEZE_MODE – STACJA SLAVE PRACUJE W TRYBIE FREEZE	DIAG.WD_ON – AKTYWNY UKŁAD KONTROLI ODPYTYWANIA WATCHDOG	USTAWIONY NA 1	DIAG.STAT_DIAG – DIAGNOSTYKA STATYCZNA	DIAG.PRM_REQ – STACJA WYMAGA PONOWNEJ PARAMETRYZACJI

bajt 3

7	6	5	4	3	2	1	0
DIAG.EXT_OVERFLOW – NIE PEŁNA INFORMACJA DIAGNOSTYCZNA	REZERWA						

bajt 4

7	6	5	4	3	2	1	0
DIAG.MASTER_ADD – ADRES PRZYPISANEJ JEDNOSTKI MASTER (FF_{HEX} – BRAK)							

bajt 5

7	6	5	4	3	2	1	0
NUMER IDENTYFIKACYJNY URZĄDZENIA (STARSZY BAJT)							

bajt 6

7	6	5	4	3	2	1	0
NUMER IDENTYFIKACYJNY URZĄDZENIA (MŁODSZY BAJT)							

Diagnostyka urządzenia [1÷3, 23]:

nagłówek 1

7	6	5	4	3	2	1	0
0 0 – USTALONE (DIAGNOSTYKA URZĄDZENIA)		DŁUGOŚĆ BLOKU (BAJT) Z UWZGLĘDNIENIEM NAGŁÓWKA					

Diagnostyka modułu:

nagłówek 2

7	6	5	4	3	2	1	0
0 1 – USTALONE (DIAGNOSTYKA MODUŁU)		DŁUGOŚĆ BLOKU (BAJT) Z UWZGLĘDNIENIEM NAGŁÓWKA					

Przykład diagnostyki modułu:

nagłówek								info. diagnostyczne								info. diagnostyczne								info. diagnostyczne							
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
USTALONE		DŁUGOŚĆ BLOKU Z NAGŁÓWKIEM, RÓWNA 4 BAJTY						– MODUŁ W SLOCIE 0 ZWRACA DIAGNOSTYKĘ – MODUŁ W SLOCIE 3 ZWRACA DIAGNOSTYKĘ								– MODUŁ W SLOCIE 9 ZWRACA DIAGNOSTYKĘ MODUŁ W SLOCIE 14 ZWRACA DIAGNOSTYKĘ																	

Diagnostyka kanału:

Zawsze 3 bajty danych na kanał. Zawiera predefiniowane kody błędów i kody błędów definiowane przez producenta.

bajt 1

7	6	5	4	3	2	1	0
1 0 – USTALONE (DIAGNOSTYKA KANAŁU)		NUMER SLOTU					

bajt 2

7	6	5	4	3	2	1	0
TYP KANAŁU: 0 0 – REZERWA 0 1 – WEJŚCIE 1 0 – WYJŚCIE 1 1 – WE/WY		NUMER KANAŁU					

bajt 3

7	6	5	4	3	2	1	0
0 0 0 – REZERWA 0 0 1 – 1 BIT 0 1 0 – 2 BITY 0 1 1 – 3 BITY		1 0 0 – 1 SŁOWO 1 0 1 – 2 SŁOWA 1 1 0 – 4 SŁOWA 1 1 1 – REZERWA	KOD BŁĘDU: 0 – REZERWA 1 – ZWARCIE 2 – NAPIĘCIE PONIŻEJ ZAKRESU 3 – NAPIĘCIE POWYŻEJ ZAKRESU 4 – PRZECIĄŻENIE 5 – PRZEKROCZENIE TEMPERATURY			6 – PRZERWA 7 – PRZEKROCZONY GÓRNY ZAKRES 8 – PRZEKROCZONY DOLNY ZAKRES 9 – BŁĄD 10-15 – REZERWA 16-31 – DEF. PRZEZ PRODUCENTA		

Przykład diagnostyki kanału:
80 02 06 – slot: 0, kanał: 2 i 3, kod błędu: 6,

80 03 06 – slot: 0, kanał: 3, kod błędu: 6,

85 00 13 – slot: 5, kanał: 0, kod błędu: 19,

86 00 13 – slot: 6, kanał: 0, kod błędu: 19,

87 00 13 – slot: 7, kanał: 7, kod błędu: 19.

1.4. Parametry magistrali PROFIBUS DP

Najważniejsze parametry magistrali PROFIBUS DP zostały zebrane w tabeli 4.1.

Tabela 4.1. Parametry sieci PROFIBUS DP [20, 21, 23]

LP	NAZWA	OPIS
1	$MINT_{SDR}$	MIN. CZAS ODPOWIEDZI STACJI SLAVE, MIN. CZAS OPÓŹNIENIA PO JAKIM PARTNER MOŻE ODPOWIEDZIEĆ
2	$MAXT_{SDR}$	MAX. OPÓŹNIENIA WYSYŁANIA ODPOWIEDZI PRZEZ PARTNERA
3	WATCHDOG	CZAS NADZOROWANIA KOMUNIKACJI ZE STACJĄ MASTER PRZEZ STACJĘ SLAVE
4	T_{SLOT}	CZAS W JAKIM NADAWCA POWINIEN ODEBRAĆ CO NAJMNIEJ JEDEN BAJT DANYCH ODPOWIEDZI NA SWOJE ZAPYTANIE
5	HSA	NAJWYŻSZY DOZWOLONY ADRES STACJI AKTYWNEJ W SIECI
6	T_{TR}	CZAS ROTACJI ŻETONU, CZAS CYKLU SIECI
7	T_{QUI}	CZAS POTRZEBNY NA PRZEŁĄCZENIE Z TRYBU NADAWANIA DO TRYBU ODBIORU
8	T_{SET}	DODATKOWY CZAS OCZEKIWANIA JAKI MUSI UPŁYNĄĆ ZANIM STACJA WYŚLE ODPOWIEDŹ
9	T_{RDY}	CZAS JAKI MUSI UPŁYNĄĆ ZANIM NADAWCA PAKIETU BĘDZIE GOTOWY DO ODEBRANIA ODPOWIEDZI
10	RETRY LIMIT	MAX. DOZWOLONA LICZBA POWTÓRZEŃ ZAPYTANIA GDY STACJA NIE ODPOWIADA NA ZAPYTANIE W CZASIE T_{SLOT}
11	T_{ID}	CZAS OCZEKIWANIA STACJI AKTYWNEJ: POMIĘDZY ODEBRANIEM ODPOWIEDZI, A WYSŁANIEM KOLEJNEGO ZAPYTANIA T_{ID1} LUB POMIĘDZY WYSŁANIEM ROZGŁOSZENIA, A WYSŁANIEM KOLEJNEGO PAKIETU T_{ID2}
12	GAP FACTOR	LICZBA CYKLI SIECI, W KTÓRYCH STACJA AKTYWNA NIE SPRAWDZA PRZYPORZĄDKOWANYCH ADRESÓW POD KĄTEM WYSZUKANIA NOWYCH STACJI

1.5. Znaczenie pliku .GSD

Aby możliwe było uruchomienie sieci, każde urządzenie (oprócz urządzeń master) wyposażone w interfejs DP musi być skonfigurowane za pomocą pliku .GSD dostarczonego przez producenta danego urządzenia [26, 29].

Każde urządzenie podrzędne w sieci PROFIBUS DP musi mieć plik .GSD, który charakteryzuje możliwości i parametry tego urządzenia. Plik .GSD wspomaga proces konfigurowania urządzenia Master w sieci PROFIBUS. Aktualne wersje plików .GSD dla urządzeń SIEMENS można uzyskać z strony internetowej www.siemens.com. Plik .GSD zawiera takie parametry jak dopuszczalna prędkość transmisji danych, obsługiwane funkcje sieci PROFIBUS, oraz unikalny identyfikator urządzenia. Większość programów używana do konfigurowania urządzenia nadrzędnego wymaga, aby urządzenie podrzędne było pisane przez plik .GSD, toteż zawsze należy wykorzystywać ten plik. Główne informacje, jakie zawiera plik .GSD to:

- prędkość transmisji danych,
- długość danych wejściowych i wyjściowych, jaka ma być wymieniana,
- znaczenie diagnostyki danych i możliwość użycia parametrów,
- typ urządzenia zewnętrznego,
- tekst przyporządkowany dla adresów symbolicznych,
- obsługa urządzenia.

Plik .GSD jest wymagany dla każdego urządzenia klasy 1, jeżeli Master i wszystkie urządzenia zewnętrzne funkcjonują jako slave.

1.5.1. Przetwarzanie pliku .GSD przez program konfigurujący sieć PROFIBUS

Plik .GSD jest wymagany przy konfiguracji i oddaniu do rozruchu sieci. Każdy wytwórca urządzeń PROFIBUS DP klasy 1 tworzy konfigurujące narzędzie programowe dostępne przy konfigurowaniu urządzeń klasy1. Najczęściej aplikowanie pliku .GSD sprowadza się do skopiowania pliku na dysk twardy komputera PC i umieszczenia go w określonej ścieżce podanej przez program konfigurujący. Kiedy system jest skonfigurowany program narzędziowy interpretuje dane z pliku .GSD dla urządzenia zewnętrznego, które zostało wybrane. W dodatku program sprawdza dane konfiguracyjne czy są logicznie poprawne. Na koniec programista może wybrać, którą formę skompilowanych danych przesłać do Mastera klasy 1. Teraz oddanie do rozruchu sieci i interpretacja pliku .GSD mogą dostarczyć informacji odnośnie błędów, które mogą występować. W formalnym opisie pliku .GSD mogą być przeprowadzane następujące zmiany:

- opis kontynuacji linii transmisji,
- opis rozpoczęcia linii pliku .GSD,
- opis wolnych miejsc między liniami,
- opis wolnych miejsc w używanych definicjach,
- prędkość transmisji urządzenia,
- T_{rdy} dla nowej transmisji (tylko urządzenia Master),
- T_{qui} dla nowej transmisji (tylko urządzenia Master),
- T_{set} dla nowej transmisji (tylko urządzenia Master),
- T_{sdi} dla nowej transmisji (tylko urządzenia Master),
- opis nazwy urządzenia,
- ograniczenie ostatniego bitu <495,
- obszar wartości bitów (0<bit<495),
- zamiana poprzedniej definicji modułu.

1.5.2. Podstawowe słowa kluczowe występujące w pliku .GSD

Oznaczenie opcji dla słowa kluczowego:
(M) – absolutnie wymagana,
(O) – opcjonalna, możliwa do dodania,
(D) – opcjonalna, wynosi zero, jeśli nie istnieje,
(G) – łączy korespondujące współczynniki przepustowości (Bd)

.GSD Weryfikacja: (M zaczynaj z nowelizacją 1)
Wersja ID formatu pliku .GSD
Np. .GSD weryfikacja = 0 (.GSD_Revision = 0)

Nazwa dostawcy: (M)
Nazwa dostawcy
Typ: pokazujący się ciąg znaków(32)
Np. Nazwa dostawcy = ”Corp_ABC&CO”

Nazwa modelu: (M)
Nazwa wytwórcy (typ sterownika) urządzenia DP. Nazwa ta wskazana jest w narzędziu konfigurującym

Typ: pokazujący się ciąg znaków(32)
Np. Nazwa modelu = ”Modularna stacja I/O”

Weryfikacja: (M)
Wersja urządzenia DP
Typ: pokazujący się ciąg znaków(32)
Np. Wersja = „wersja 01”

Numer identyfikacyjny: (M)
Każde urządzenie zewnętrzne jest scharakteryzowane przez numer identyfikacyjny przydzielony przez PNO (ang. *PROFIBUS trade organization*), który zawiera unikalne dla pliku .GSD i techniczne dane urządzenia [29]. Różne warianty urządzenia zewnętrznego mogą być opisane przez jeden plik .GSD używający tego samego numeru identyfikacyjnego np. urządzenia modułowe. Wymiana danych z urządzeniem zewnętrznym jest możliwa tylko wtedy, gdy urządzenie PROFIBUS DP samo poprawnie zidentyfikuje urządzenie zewnętrzne poprzez numer identyfikacyjny podczas załączenia zasilania.
Typ: nieopisany8
Np. Numer identyfikacyjny = 0x00A2

Numer protokołu: (M)
Protokół używany dla urządzeń DP
Typ: nieopisany8
0: PROFIBUS DP
16 do 225: dane specyficzne wytwórcy
np. Numer protokołu = 0

Typ stacji: (M)
Typ urządzenia DP
Typ: nieopisany8
0: DP Slave
1: DP Master
Np. Typ stacji = 0

Zwolnienie sprzętowe: (M)
Zwolnienie sprzętowe urządzenia DP
Typ: pokazujący się ciąg znaków(32)
Np. Zwolnienie sprzętowe = „Hardware_release HW = 0.1”

Zwolnienie programowe: (M)
Zwolnienie programowe urządzenia DP
Typ: pokazujący się ciąg znaków(32)
Np. Zwolnienie programowe = „Sowtware_release SW = 1.0.1”

187.5 (G)
Współczynnik prędkości transmisji wynosi 187.5 KBd. (1Bd-Bode=1bajt)
Typ: Logiczny (boole’wski)
1: prawda
Np. 187.5 supp = 1

12M: (G)
Współczynnik prędkości transmisji wynosi 12 MBd.

Typ: Logiczny (boole'wski)
1: prawda
Np. 12 MBd. supp = 1

Max T_{sdr} 9.6 (G) (Wartość = 60)
Jest to czas odpowiedzi potrzebujący prędkości transmisji 9.6KBd, aby odpowiedzieć na żądaną wiadomość.
Typ: Nieopisany
Podstawa czasu: bit
Wejście: Max T_{sdr} = 60

1.5.3. Przykład pliku .GSD dla modułu 16-tu wyjść binarnych ET200B

Treść pliku .GSD może być odczytana każdym narzędziem do edycji tekstu. Poniżej przedstawiono zawartość pliku .GSD dla urządzenia podrzędnego typu wyspa wyjść binarnych ET200B [29].

```
;==========================================================
; .GSD-File  for ET 200B/DP - 16DO   /LSPM2       SIEMENS AG
; MLFB  : 6ES7 132-0BH0.-0XB0
;
; Stand   : 12.02.99 V1.3  SX   entspr. TD V1.2 v. 06.06.97
; File    : SIEM0002.GSE
;==========================================================
#PROFIBUS_DP
; <Prm-Text-Def-List>
; <Ext-User-Prm-Data-Def-List>
; <Unit-Definition-List>
.GSD_Revision=1
Vendor_Name="SIEMENS"
Model_Name="B-16DO         DP"
Revision="V1.3"
Ident_Number=0x0002
Protocol_Ident=0
Station_Type=0
Hardware_Release="A1.0"
Software_Release="Z1.0"
9.6_supp=1
19.2_supp=1
45.45_supp=1
93.75_supp=1
187.5_supp=1
500_supp=1
1.5M_supp=1
3M_supp=1
6M_supp=1
12M_supp=1
MaxTsdr_9.6=60
MaxTsdr_19.2=60
MaxTsdr_45.45=250
```

```
MaxTsdr_93.75=60
MaxTsdr_187.5=60
MaxTsdr_500=100
MaxTsdr_1.5M=150
MaxTsdr_3M=250
MaxTsdr_6M=450
MaxTsdr_12M=800
Implementation_Type="LSPM2-B"
Bitmap_Device="ET200B_N"
Bitmap_SF="ET200B_S"
; Slave-Specification:
OrderNumber="6ES7 132-0BH0.-0XB0"
Periphery="ET 200"
OffsetFirstMPDBlock=0
ETERDelay=0
MaxResponseDelay=0
Sync_Mode_supp=1
Auto_Baud_supp=1
Min_Slave_Intervall=1
Max_Diag_Data_Len=13
Modul_Offset=0
Slave_Family=3@TdF@ET200B
Max_Module=2
Max_Input_Len=0
Max_Output_Len=2
Max_Data_Len=2
; UserPrmData: Length and Preset:
User_Prm_Data_Len=5
User_Prm_Data = 0x00,0x00,0x00,0x00,0x00
Ext_User_Prm_Data_Const(0)=0x00,0x00,0x00,0x00,0x00
; Unit-Diagnostics:
Unit_Diag_Bit(0000)="Short Circuit        CH  0- 7"
Unit_Diag_Bit(0001)="       Load Voltage  CH  0- 7"
Unit_Diag_Bit(0002)="Short Circuit        CH  8-15"
Unit_Diag_Bit(0003)="       Load Voltage  CH  8-15"
; <Module-Definition-List>
Module="2 Byte Out, 0 Byte In         " 0x21,0x00
EndModule.
```

Plik .GSD używany jest do zdefiniowania tych parametrów, które są niezbędne do ciągłego aktualizowania. Jest to wygodny sposób do ustawienia transferu danych wejściowych i wyjściowych między sterownikami, a urządzeniami nadrzędnymi, takimi jak: sterowniki typu master, lub komputery nadzorujące. Mimo to całkowite marnotrawienie całej szerokości pasma przenoszenia zachodzi gdy: używamy odczytu lub zapisu sporadycznych danych dostępu, takich jak automatyczne strojenie, lub wartości trzyczłonowe, całkowity odczyt/zapis, który jest wykonany - wymaga dużej ilości wymiany danych, np. nastawianie, czy praca programatora.
Dla tych parametrów używany jest pod-protokół „żądania danych”. Pozwala on na uzyskanie dostępu odczytu/zapisu do każdego parametru bez używania sterownika, co zwane jest jako „Tags” - etykiety, które identyfikują parametry. Każdy parametr ma unikalną 16-to bitową etykietę. Adresy etykiet są używane do identyfikacji parametrów sterownika, i są używane z protokołem żądania danych do

nastawienia danych o wejściach i wyjściach urządzeń w sieci do sterownika PLC, lub komputera nadzorującego. Kiedy protokół żądania danych jest używany pierwsze cztery 16-to bitowe rejestry PROFIBUS DP obszaru wyjść są zarezerwowane dla zakodowania „wiadomości żądania" używającej ten protokół. Program sterujący jest odpowiedzialny za zapisywanie wartości do pierwszych czterech rejestrów w celu stworzenia żądań. Narzędzie protokołu używa pierwszych czterech rejestrów PROFIBUS DP obszaru wejść jako odpowiedzi o zwracanych wartościach, i wskazanych sukcesach, lub błędach operacji które były żądane. Usługa „ żądania danych" jest włączana w sterowniku Master w pierwszym bajcie obszaru danych konfiguracji modułu. Jest to nastawiane automatycznie gdy:

- używamy pliku .GSD,
- wybrana jest opcja używania protokołu „żądania danych".

Protokół „żądania danych" używa pierwszych 8-u bajtów zarówno w wiadomości żądania, i wiadomości odpowiedzi cyklicznej wymiany danych.

1.6. Diagnostyka sieci PROFIBUS DP

Systemy sterowania przy użyciu PLC połączonych w sieci odgrywają kluczową rolę często w aplikacjach krytycznych czasowo, aplikacjach o dużym wymaganym bezpieczeństwie działania (przemysł petrochemiczny, energetyczny, itd.), systemach z redundancją, w środowiskach zagrożonych wybuchem, itd. Dodatkowo układy sterowania rozproszonego narażone są na różnego rodzaju zakłócenia np. elektromagnetyczne, uszkodzenia mechaniczne i inne. Wiele problemów związanych z działaniem sieci wynika z błędów instalacyjnych lub programowych. Dlatego też zagadnienie diagnostyki staje się bardzo ważnym i aktywnym problemem towarzyszącym praktycznie każdej aplikacji przemysłowej.
Generalnie realizację diagnostyki sieci PROFIBUS DP można przeprowadzić na podstawie analizy sygnałów w warstwie fizycznej lub na podstawie badania protokołu. Diagnostyka sieci na podstawie protokołu została częściowo opisana w rozdziale dotyczącym struktury ramek danych protokołu PROFIBUS DP.

1.6.1. Typowe problemy występujące w sieci PROFIBUS DP

Generalnie główne problemy związane z niewłaściwym działanie sieci DP można wymienić jako:

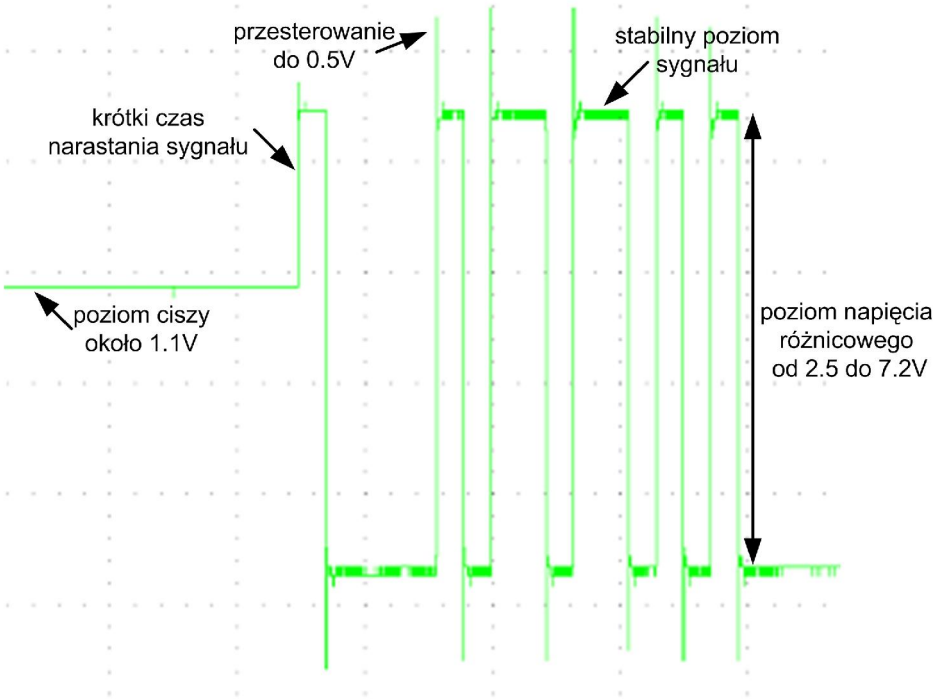
- błędy w projektowaniu sieci: zbyt duża prędkość sieci dla danej długości segmentu, błędna lokalizacja terminatorów, brak zasilania terminatora, brak wzmacniacza, niewłaściwa topologia sieci, nieodpowiedni rodzaj medium, zbyt duża liczba odgałęzień, itd.,
- błędy programowe sieci: błędy ustawień parametrów magistrali, niewłaściwa prędkość transmisji, nieodpowiednie dobranie urządzeń i ich parametrów, błędy firmware, itd.,
- błędy w instalowaniu sieci: niewłaściwe okablowanie, brak ekranowania, ułożenie przewodów sygnałowych nie zgodnie z zaleceniami, np. razem z przewodami zasilania, nieprzestrzeganie minimalnych odległości pomiędzy przewodami, błędy montażowe złącz, błędy w uziemianiu przewodu sieciowego, stosowanie nie zalecanych komponentów (nie zgodnych z specyfikacją), stosowanie odgałęzień zwiększających pojemność medium (około 20-30pF każde) – co powoduje obicia cząstkowe sygnału,
- zakłócenia: elektromagnetyczne – wprowadzane przez sprzężenie pojemnościowe lub indukcyjne – mechaniczne, inne,
- uszkodzenia: uszkodzenia mechaniczne przewodu, np. przerwa lub zwarcie jednej z linii danych lub ekranu, uszkodzenie mechaniczne światłowodu w przypadku wykorzystania jako warstwy fizycznej kabli światłowodowych, uszkodzenie złącza (dodatkowa pojemność, zwarcie, itp.), i inne.

1.6.2. Diagnostyka sieci DP na podstawie warstwy fizycznej

Diagnostyka na podstawie warstwy fizycznej sprowadza się do [23]:

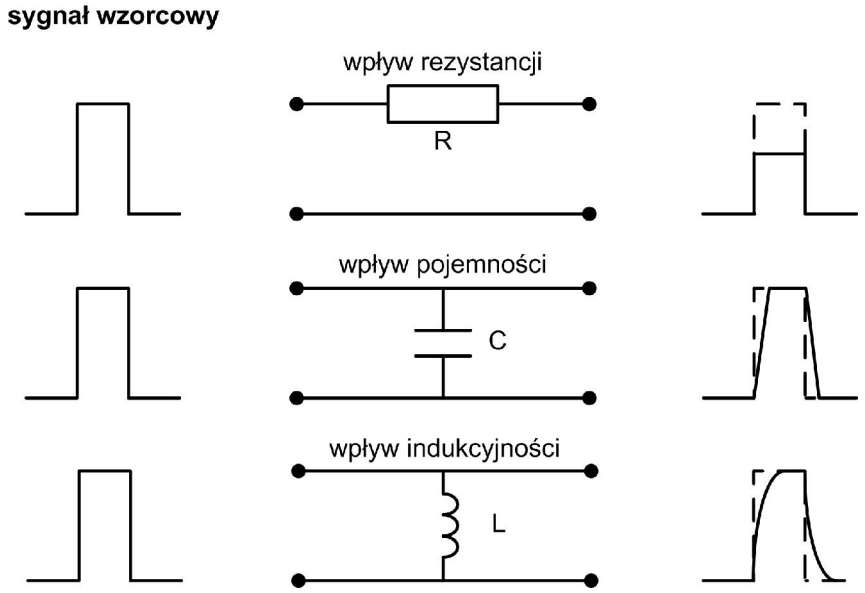
- oceny wizualnej instalacji:
  - ułożenia przewodu komunikacyjnego,
  - sumarycznej długość odgałęzień,
  - minimalnej odległości pomiędzy przewodami,
  - przegród separujących,
  - minimalnych promieni zgięcia przewodu,
  - ilości aktywnych terminatorów,
  - połączeń ekranu przewodu z obudową urządzenia,
  - wykonania połączeń wyrównujących potencjały,
- wykonanie pomiarów przy pomocy multimetru:
  - detekcji przerwań i zwarcia przewodów poprzez pomiary przejścia sygnału,
  - zamiany linii danych A/B i pomiar długości przewodu,
  - sprawdzenia poprawności terminacji segmentu poprzez pomiar rezystancji przewodu,
- wykonanie pomiarów przy pomocy testera przewodu celem wykrycia i oceny:
  - przerwy w linii A, B lub ekranie,
  - zwarcia pomiędzy linami A-B,
  - połączenia wysokorezystacyjne pomiędzy linami A-B oraz A lub B, a ekranem,
  - detekcji dodatkowych włączonych terminatorów,
  - detekcji odgałęzień w segmencie,
  - pomiarów impedancji falowej,
  - zmiany lini A-B w przewodzie,
  - pomiarów długości segmentu,
  - informacji o jakości generowanego poziomu sygnału,
  - lokalizacji problemów,
  - generowanie raportu z testu,
  - testowania sieci z obecnością stacji DP Master,
  - identyfikacji adresów stacji,
  - pomiarów amplitudy nadajnika PLC,
- wykonanie pomiarów przy pomocy oscyloskopu:
  - testowania sieci w czasie jej eksploatacji,
  - analizy sygnałów rejestrowanych i zapisywanych,
  - wykrywania długości przewodu, zwarcia pomiędzy linami A-B-ekranem z określeniem lokalizacji,
  - wykrywania dodatkowych odgałęzień,
  - pomiarów amplitudy sygnału on-line,
  - oceny jakości ekranowania przewodu,
  - sprawdzenia terminacji segmentu,
  - pomiarów napięcia różnicowego pomiędzy linami A-B,
  - pomiarów szybkości narastania sygnału elektrycznego przy zmianie wartości logicznej '0/1',
  - pomiarów przesterowania i kształtu sygnału.

Przykładowy, optymalny sygnał w sieci PROFIBUS DP został przedstawiony na rysunku 1.17.



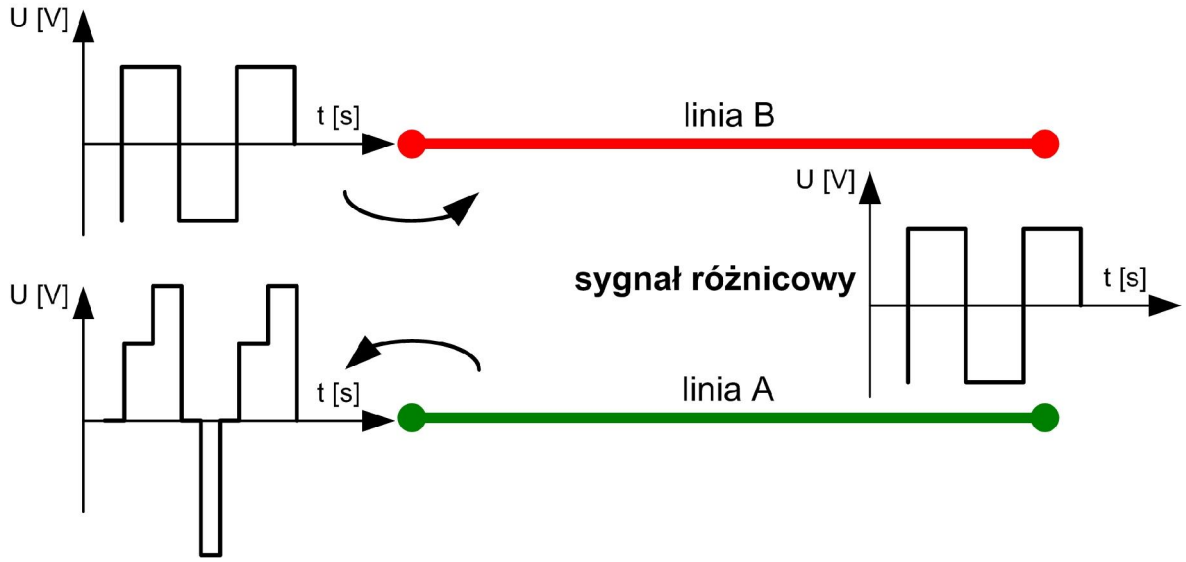
Rys. 1.17. Sygnał optymalny, różnicowy, zarejestrowany oscyloskopem [23]

Typowe zniekształcenia sygnału są powodowane np. wpływem rezystancji, pojemności lub indukcyjności (rysunek 1.18).



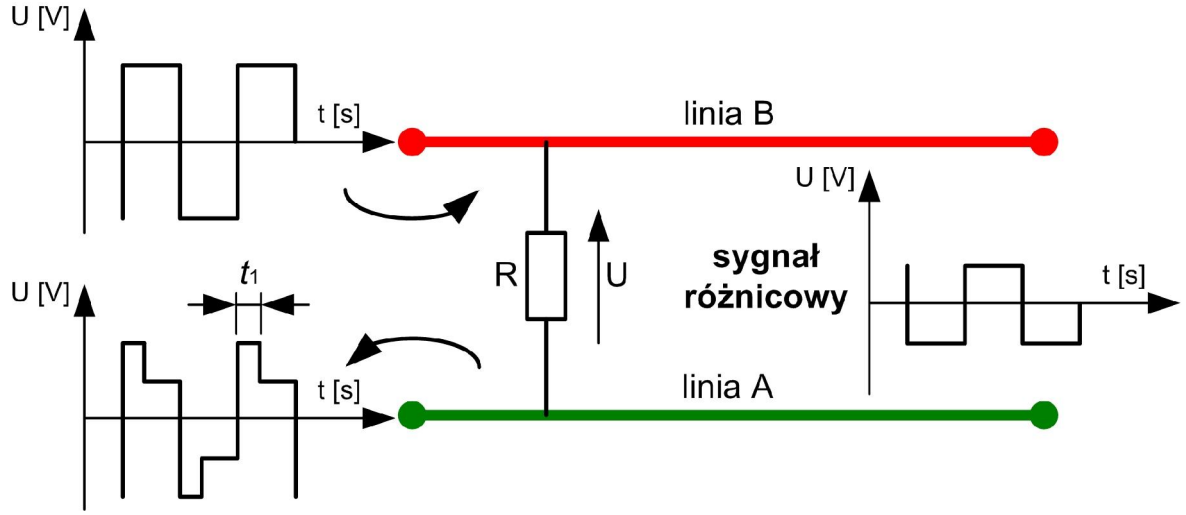
Rys. 1.18. Zniekształcenia sygnału [23]

Brak np. włączonego terminatora powoduje niepożądane odbicia sygnału, które sumują się z sygnałem transmitowanym w linii. Powoduje to np. większe napięcia poziomu sygnału (powyżej 7.2V). Lokalizacja miejsca powstawania problemu nie jest widoczna w miejscu pomiaru/diagnostyki.
Zniekształcenie sygnału w linii w przypadku braku terminatora zostało przedstawione na rysunku 1.19.



Rys. 1.19. Zniekształcenie sygnału w przypadku braku terminatora [23]

Jeżeli w połączeniu sieciowym (segmencie) występuje dodatkowa rezystancja, powoduje to pojawienie się odbicia sygnału odwróconego w fazie. Spadek napięcia na rezystancji powoduje spadek amplitudy sygnału, który zniekształca sygnału transmitowany (rysunek 1.20).

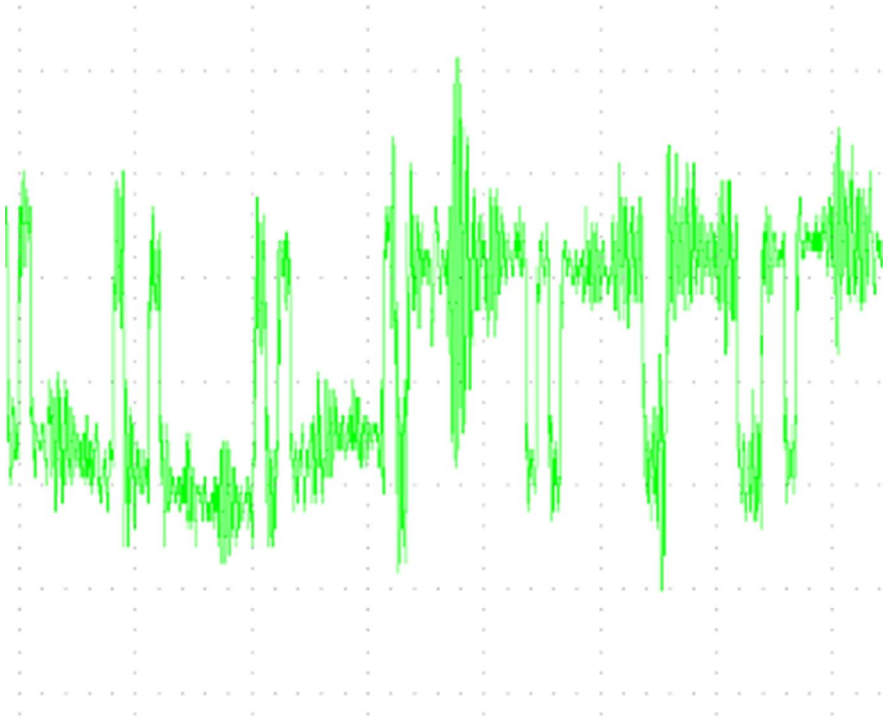


Rys. 1.20. Zniekształcenie sygnału w przypadku wystąpienia dodatkowej rezystancji [23]

Lokalizacja miejsca uszkodzenia jest możliwa poprzez pomiar czasu t_1 (rysunek 1.20). Biorąc pod uwagę, że średnia prędkość propagacji sygnału elektrycznego w przewodzie miedzianym wynosi V_s=200 000km/s, odległość usterki sieci od punktu pomiaru wynosi:

$$S_s = \frac{V_s \cdot t_1}{1000} \quad [\mathrm{m}] \tag{1.1}$$

Występowanie różnego rodzaju uszkodzeń sieci oraz zakłóceń powoduje zniekształcenie sygnału w stopniu uniemożliwiającym poprawny odczyt zakodowanej informacji binarnej. Przykład takiego sygnału zmierzonego za pomocą oscyloskopu przedstawiono na rysunku 1.21.



Rys. 1.21. Przykład sygnału zakłóconego [23]

1.6.3. Diagnostyka sieci DP na podstawie protokołu

Diagnostyka sieci PROFIBUS DP na podstawie protokołu sprowadza się do zastosowania oprogramowania inżynierskiego i analizy sygnału cyfrowego na poziomie ramek danych. Jako narzędzia/oprogramowanie są stosowane [27, 29]:

- oprogramowanie STEP7 wchodzące w skład pakietu SIMATIC Manager (dla systemów SIMATIC S7),
- oprogramowanie COM PROFIBUS (dla starszych systemów SIMATIC S5),
- analizator ProfiTrace,
- inne dedykowane przez producentów urządzeń i systemów PLC.

Zaletą w/w narzędzi inżynierskich jest szybka i prosta konfiguracja sieci oraz zarządzanie urządzeniami sieciowymi. Wspomaganie na poziomie możliwości komunikacji. Narzędzia te nie pozwalają jednak ocenić jakości sygnału.
Informacje statusowe udostępniane przez stacje PROFIBUS DP umożliwiają użytkownikowi wykrycie i zlokalizowanie niektórych błędów sieci, np.:

- dostępność/niedostępność danej stacji w sieci,
- błędy parametryzacji i konfiguracji stacji.
- brak lub uszkodzenie jednego z modułów w stacji DP Slave,
- brak zasilania zewnętrznego modułu w obwodach wykonawczych,
- błąd konkretnego modułu stacji DP Slave (np. moduł cyfrowy DO, slot 6, kanał 0, przerwa w obwodzie),
- przerwa w pętli prądowej w obwodzie pomiarowym kanału analogowego.

Narzędzia inżynierskie pozwalają ponadto prowadzić diagnostykę on-line bez przerywania pracy sieci.

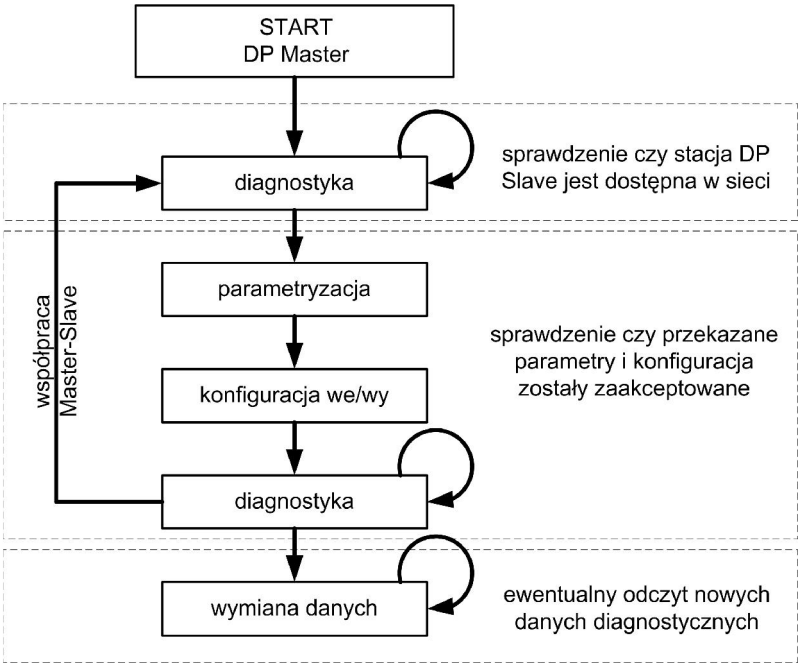
Analizatory protokołu sieci pozwalają na bieżąco śledzić dane procesowe pomiędzy stacją DP Master a DP Slave. Pozwala to na wykluczenie błędów w aplikacji sieci.
Stacje DP Slave udostępniają szereg informacji diagnostycznych, które są odbierane przez stacje DP Master w postaci specjalnych ramek danych. Format ramek diagnostycznych został opisany w rozdziale opisującym ramki protokołu PRFIBUS. Generalnie diagnostyka stacji DP Slave jest podzielona na 3 bloki:

- diagnostyka urządzenia – format informacji zdefiniowany przez producenta,
- diagnostyka modułu – opisuje status poszczególnych modułów zamontowanych w urządzeniu/stacji,
- diagnostyka kanału – opisuje informacje statusu dla każdego kanału w ramach danego modułu (np. zwarcie, uszkodzenie wyjścia cyfrowego/analogowego, itd.).

Odczyt informacji diagnostycznych stacji DP Slave przez stację DP Master odbywa się w określonym porządku, tj:

- przed przystąpieniem stacji do wymiany danych procesowych, stacja master realizuje diagnostykę wszystkich stacji slave, które obsługuje,
- stacja master przesyła informacje o parametrach i konfiguracji stacji DP Slave,
- jeżeli stacja DP Slave nie zgłasza błędu i jest gotowa do wymiany danych procesowych, stacja DP Master wchodzi w tryb wymiany danych procesowych,
- jeżeli w czasie wymiany danych procesowych wystąpi błąd stacji DP Slave (np. przerwa/zwarcie w jednym z kanałów), to stacja ta sygnalizuje dostępność nowych danych diagnostycznych dla stacji DP Master, w ten sposób powtarza się cykl obsługi stacji.

Cykl obsługi diagnostyki stacji DP Slave przez stację DP Master został przedstawiony w formie algorytmu na rysunku 1.22.



Rys. 1.22. Odczyt informacji diagnostycznych przez DP Master [23]

2. Ćwiczenia z projektowania sieci PROFIBUS DP

W rozdziale tym opisano 6 ćwiczeń z zakresu projektowania sieci PROFIBUS DP. Znajomość podstaw programowania sterowników PLC (np. [10÷12]) jest niezbędnym elementem wymaganym do realizacji tych ćwiczeń.

2.1. Konfiguracja sieci PROFIBUS DP

2.1.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z konfiguracją sieci PROFIBUS DP. Wynikiem ćwiczenia jest znajomość uruchomiania sterowników PLC pracujących w sieci PROFIBUS DP. Stacją główną zarządzającą (Master DP) jest sterownik SIEMENS S7-300 (CPU 313C-2DP). Stacją podrzędną (Slave) jest sterownik SIEMENS S7-200 (CPU 222), który komunikuje się w sieci PROFIBUS DP poprzez moduł komunikacyjny EM 277 [26, 29].

W celu realizacji ćwiczenia wymagane jest wykonanie następujących zadań:

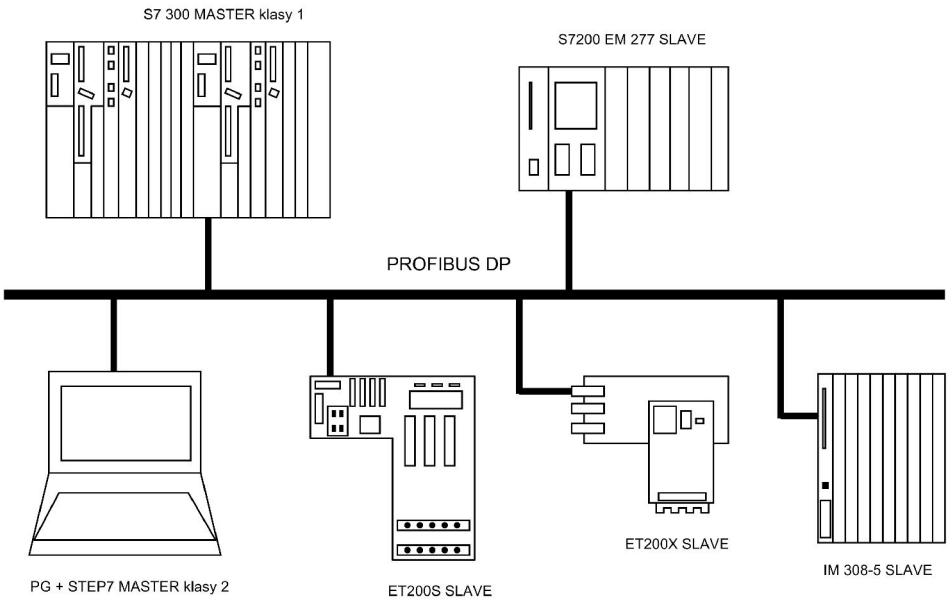
1. Nawiązanie łączności ze sterownikiem S7-300
2. Zainstalowanie składników modułu EM277
3. Konfiguracja sieci PROFIBUS DP
4. Przyłączenie stacji podrzędnej (Slave) S7-200
5. Konfiguracja modułu komunikacyjnego EM 277
6. Przetestowanie poprawności wykonanego ćwiczenia – nawiązanie komunikacji.

2.1.2. Wprowadzenie

Sieć PROFIBUS DP jest zgodna z europejskim standard sieci polowych IEC61158 [3]. Standard wyróżniają dwa podstawowe protokoły: PROFIBUS DP (ang. *Decentralized Peripheral*) i PROFIBUS FMS (ang. *Fieldbus Message Specification*). Podstawowy tryb pracy to szybka, cykliczna wymiana danych pomiędzy stacją nadrzędną i węzłami podrzędnymi. Dostęp do magistrali jest zdeterminowany i określony poprzez znacznik wymieniany cyklicznie pomiędzy stacjami nadrzędnymi. Algorytm przekazywania uprawnienia dostępu do sieci realizowany jest w logicznym pierścieniu zawierającym stacje nadrzędne. Sieć może zawierać jedną stacje nadrzędną (ang. *mono-master*) lub wiele stacji nadrzędnych (ang. *multi-master*). Nośnikiem danych jest przewód miedziany lub światłowód.
Rodzaje sieci PROFIBUS wykorzystywane do komunikacji urządzeń to:

- PROFIBUS DP (ang. *Decentralized Peripherals*) dla szybkiej i cyklicznej wymiany danych pomiędzy urządzeniami polowymi,
- PROFIBUS PA (ang. *Process Automation*) dla aplikacji w procesach automatyki stosowanych np. w obszarach niebezpiecznych – tzn. zagrożonych wybuchem.

PROFIBUS jest systemem otwartym tzn. łatwym w rozbudowie, niewrażliwym, który gwarantuje bezproblemową komunikację. System jest całkowicie znormalizowany [IEC 61158/EN 50170] włącznie z urządzeniami [1, 3]. System PROFIBUS bez problemów może łączyć urządzenia różnych producentów. Konfiguracja startowa oraz wykrywanie usterek podczas pracy może być wykonane z każdego punktu sieci. Oznacza to łatwą komunikację, łatwą do zaimplementowania, i modyfikowania. Przykładową konfiguracja urządzeń pracujących w sieci PROFIBUS DP (system SIMATIC) przedstawiono na rysunku 2.1.



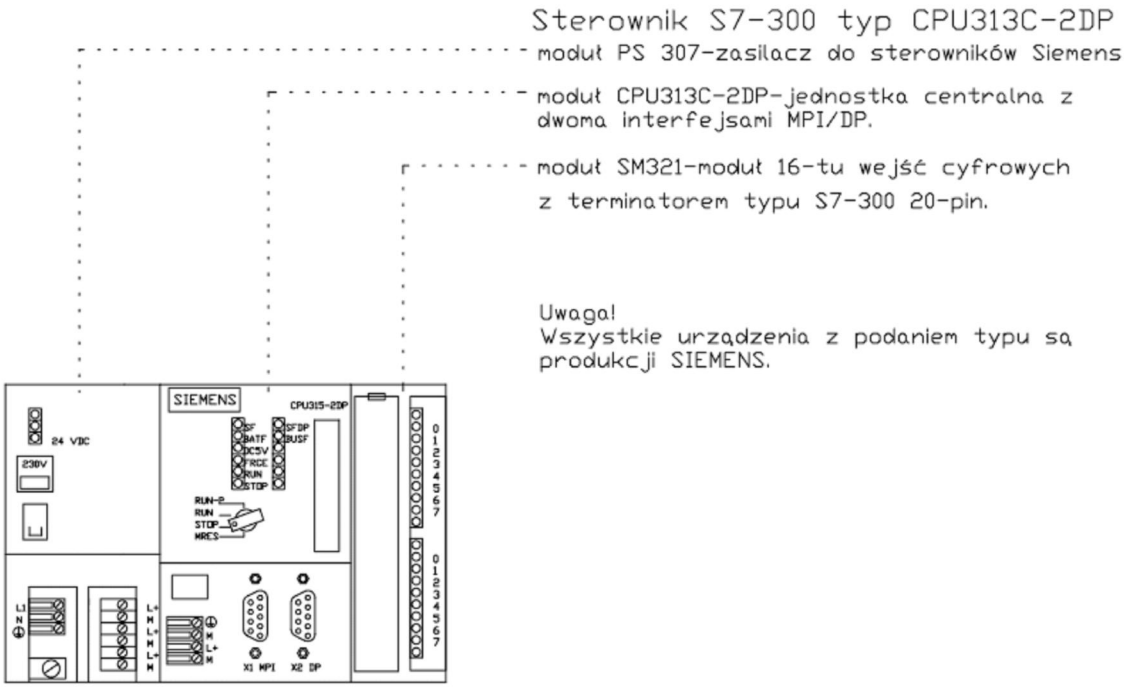
Rys. 2.1. Konfiguracja sieci PROFIBUS DP [17]

Wszystkie komunikaty przekazywane pomiędzy węzłami w sieci DP są w postaci tzw. ramek (ang. *frames*). Zadania te realizowane są przez poszczególne warstwy modelu OSI. Struktura sieci opiera się na siedmiowarstwowym modelu OSI. Transmisję danych pomiędzy węzłem nadrzędnym i podrzędnym schematycznie przedstawiono na rysunku 2.2.

Rys. 2.2. Cykliczna wymiana danych między urządzeniem Master a Slave [21]

2.1.3. Charakterystyka sterownika SIEMENS S7-300 (CPU 313C-2DP)

Sterownik PLC SIMATIC S7-300 (CPU 313C-2DP) jest urządzeniem swobodnie programowalnym, przeznaczonym do automatycznego sterowania pracą maszyn, linii produkcyjnych i obiektów technologicznych [29]. Sterownik ma budowę modułową, dzięki czemu można go łatwo dopasować do potrzeb użytkownika (można go rozbudować o inne moduły). Jest najbardziej popularnym i najczęściej stosowanym w przemyśle sterownikiem PLC [8]. Umożliwia budowę zarówno zcentralizowanych jak i rozproszonych układów sterowania, opartych na magistrali PROFIBUS DP. Dostępne interfejsy komunikacyjne PROFIBUS i INDUSTRIAL ETHERNET umożliwiają łączenie sterowników PLC i układów I/O w jednolity i zintegrowany system sterowania produkcją. Na rysunku 2.3 przedstawiono widok sterownika S7-300 używanego jako stacja Master w sieci PROFIBUS DP.



Rys. 2.3. Konfiguracja sterownika S7-300 [16]

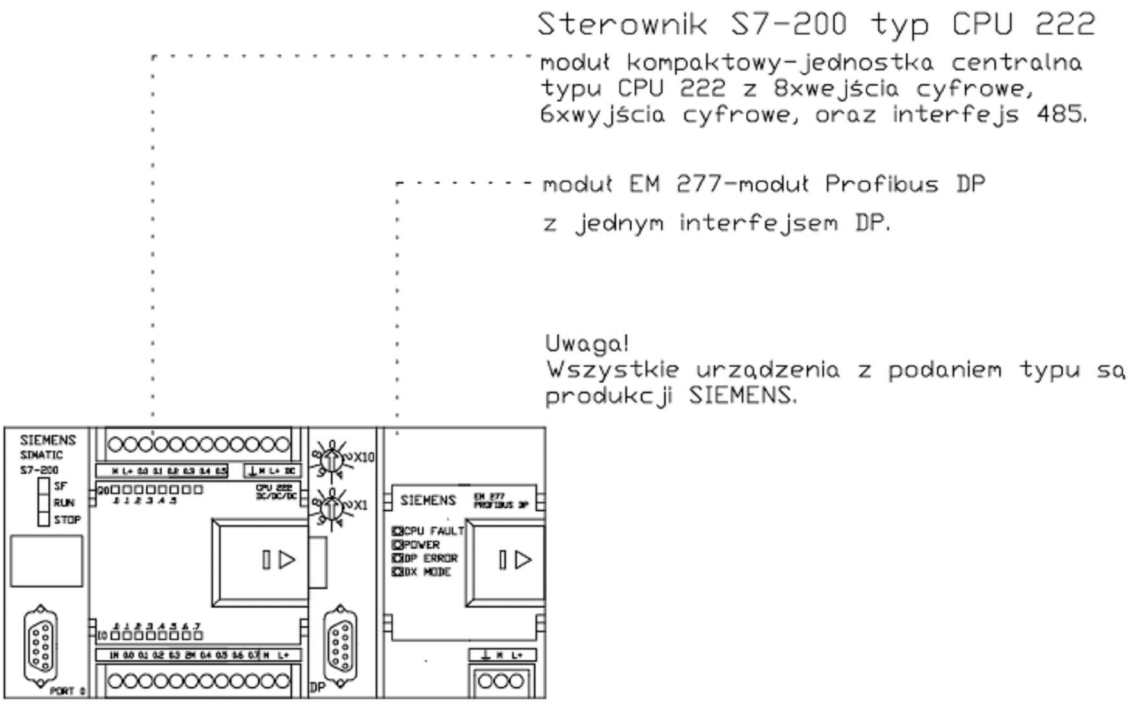
Parametry sterownika S7-300 CPU 313C-2DP przedstawiono w tabeli 2.1.

Tabela 2.1. Parametry jednostki S7-300 [29]

Procesor (CPU)	313C-2DP
Pamięć robocza	32Kbytes/10K instrukcji
Czas wykonywania poleceń operacja bitowa operacja na zmiennej 16-bitowej	 0,1μs – 0,2μs 0,50μs – 2μs
Zintegrowane I/O wejścia cyfrowe wyjścia cyfrowe	 16; 24V DC wszystkie kanały z możliwością generowania alarmów procesowych 16; 24V DC; 0.5A
Interfejs PROFIBUS DP Ilość stacji Slave Szybkość transmisji	 32 max. 12Mbit/s
Wymiary	80x125x130
Numer katalogowy	6ES7 313-6CE00-0AB0

2.1.4. Charakterystyka modułu SIEMENES S7-200 (CPU 222)

Moduł SIMATIC S7-200 jest nowoczesnym sterownikiem PLC. Charakteryzuje się zwartą budową, dużą wydajnością oraz możliwością przetwarzania programu i procesu w czasie rzeczywistym. Sterownik S7-200 (CPU222) komunikuje się w sieci PROFIBUS DP poprzez dodatkowy moduł komunikacyjny EM 277. Jest to jednostka podrzędna. Konfigurację sterownika S7-200 z modułem EM 277 przedstawiono na rysunku 2.4.



Rys. 2.4. Konfiguracja sterownika S7-200 CPU 222 z modułem EM 277 [16]

Parametry sterownika S7-200 CPU 222 przedstawiono w tabeli 2.2.

Tabela 2.2. Parametry jednostki S7-200 [29]

Procesor (CPU)	222
Pamięć robocza	2Kbytes data/4Kbytes instrukcji
Czas wykonywania poleceń operacja bitowa	 0,22µs
Zintegrowane I/O wejścia cyfrowe wyjścia cyfrowe	 8; 24V DC 6; 24V DC; 0.5A
Wymiary	90x80x62
Numer katalogowy	6ES7 212-1AB23-0XB0

2.1.5. Charakterystyka modułu EM 277

Moduł EM 277 służy do komunikacji sterownika S7-200 jako stacji Slave w sieci PROFIBUS DP. Jest on podłączony za pomocą portu szeregowego I/O z PLC, a do sieci PROFIBUS DP poprzez port komunikacyjny DP. Jako moduł DP Slave akceptuje różnego rodzaju konfiguracje dane I/O przesyłane z stacji Master.

Konfiguracja sprzętowa modułu EM 277 polega na ustawieniu adresu stacji w sieci PROFIBUS DP odpowiadającego adresowi ustawionemu w konfiguracji sieci DP zapisanej w stacji Master. Adres ten można ustawić za pomocą manualnych przełączników zlokalizowanych na obudowie modułu EM 277.

Parametry modułu komunikacyjnego EM 277 przedstawiono w tabeli 2.3.

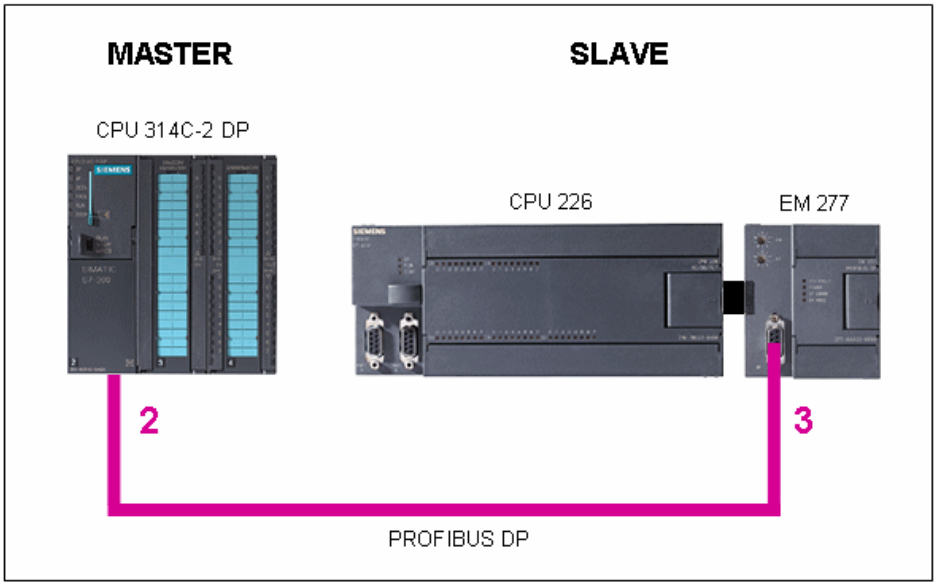
Tabela 2.3. Parametry jednostki EM 277 [29]

Nazwa	EM 277 PROFIBUS -DP
Ilość portów	1
Rodzaj przyłączenia	RS485
Ilość możliwych adresów do przypisania	99
Wymiary	71x80x62
Numer katalogowy	6ES7 277-0AA20-0XA0

2.1.6. Konfiguracja sieci PROFIBUS DP

Ustawienie adresu sprzętowego (ang. *hardware*) stacji Slave

Sterownik S7-200 można włączyć w sieć Profibus DP jako Slave poprzez modul EM 277. Przykładowy schemat połączenia S7-200 (stacji podrzędnej) z S7-300 przedstawiono na rysunku 2.5.

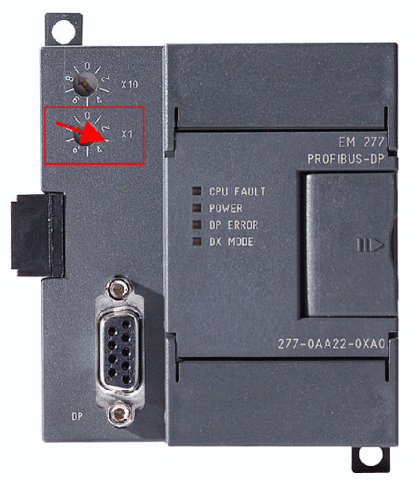


Rys. 2.5. Konfiguracja sieci PROFIBUS DP z modułem EM 277 [29], 2, 3 – adresy stacji w sieci

Przy instalacji S7-200 w sieci DP należy zwrócić uwagę na to, aby adres sprzętowy stacji Slave zgadzał się z konfiguracją stacji Master. Aby zmienić adres modułu EM 277 należy:

1. Wyłączyć urządzenie.
2. Ustawić odpowiedni adres w module EM 277. Aby to wykonać należy przekręcić strzałkę tak, aby grot wskazywał cyfrę odpowiadającą adresowi.
3. Włączyć ponownie urządzenie. Sieć nie wykryje tego sprzętu dopóki nie zostanie on ponownie uruchomiony.

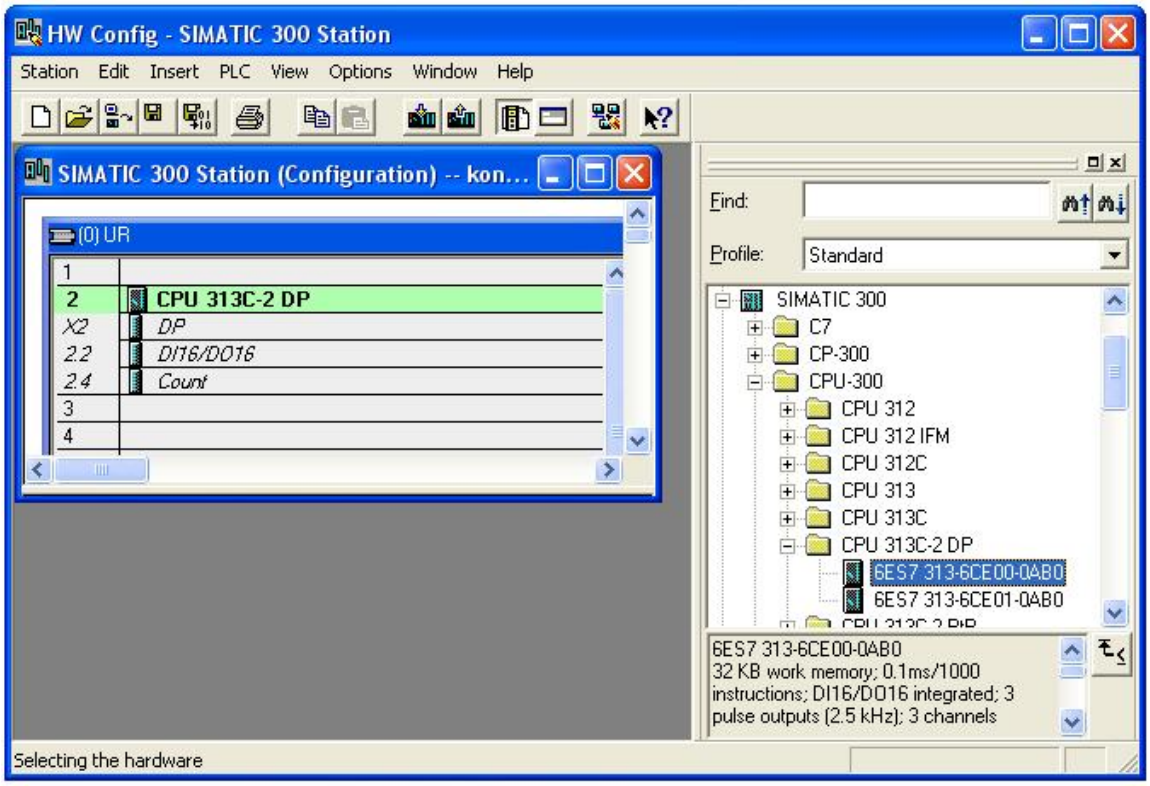
Powyższą procedurę zmiany adresu przedstawiono na zdjęciu modułu EM 277 (rysunek. 2.6).



Rys. 2.6. Ustawienie adresu modułu EM 277 w sieci PROFIBUS DP [29]

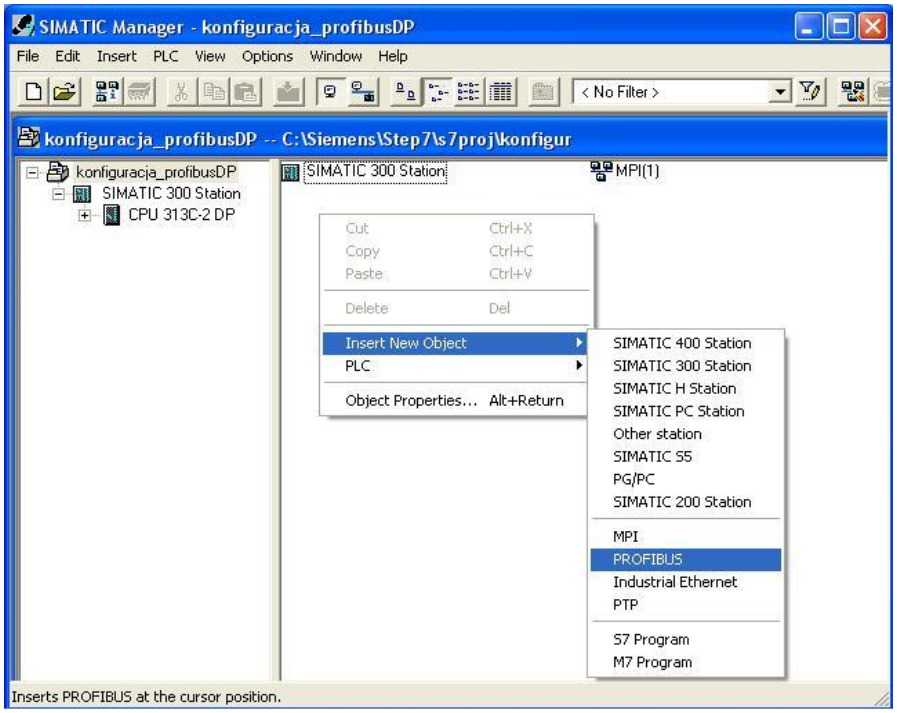
Konfiguracja stacji Master

Aby rozpocząć konfigurację sieci należy w pierwszej kolejności przygotować program (w tym przypadku Step7), tzn. utworzyć nowy projekt i wstawić odpowiedni model stacji. Należy poprawnie skonfigurować jednostkę Master, czyli zainstalować szynę (ang. *rail*) i wybrać odpowiedni moduł CPU (rysunek 2.7).



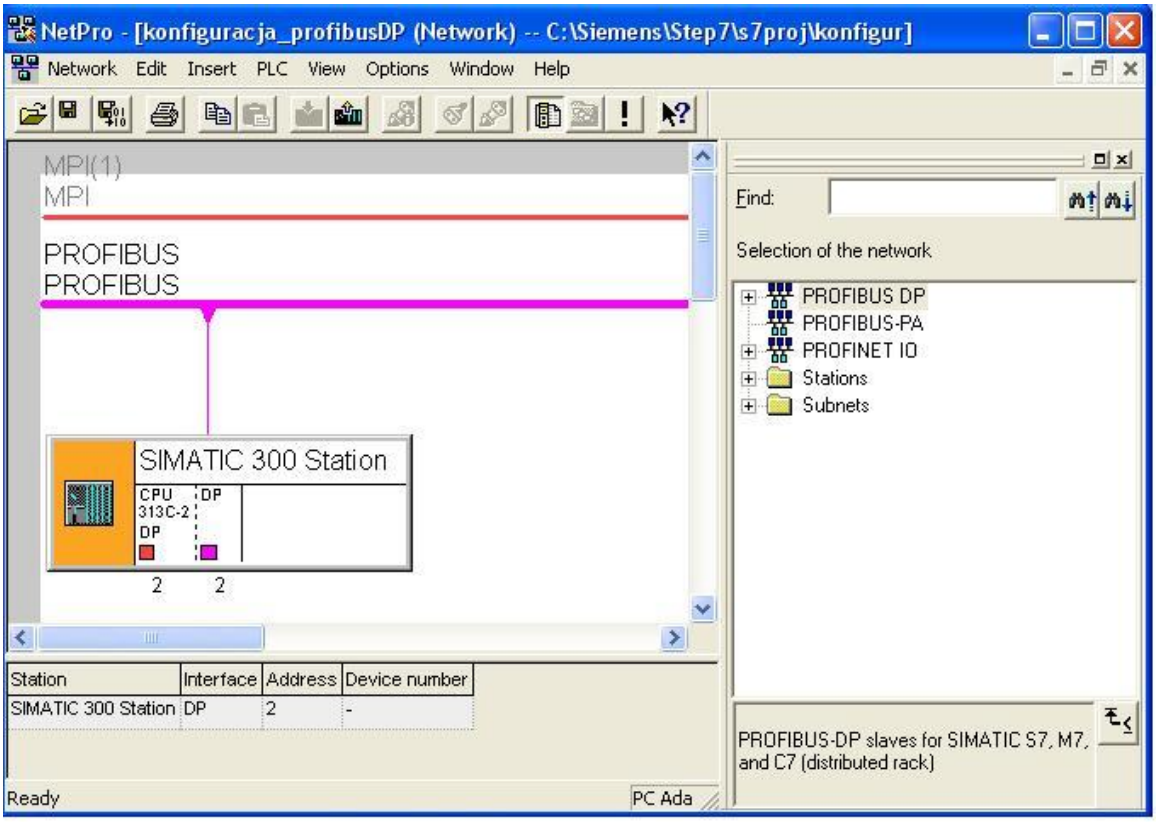
Rys. 2.7. Konfiguracja stacji Master w HW Config

Następnym krokiem będzie dodanie sieci PROFIBUS DP (rysunek 2.8).



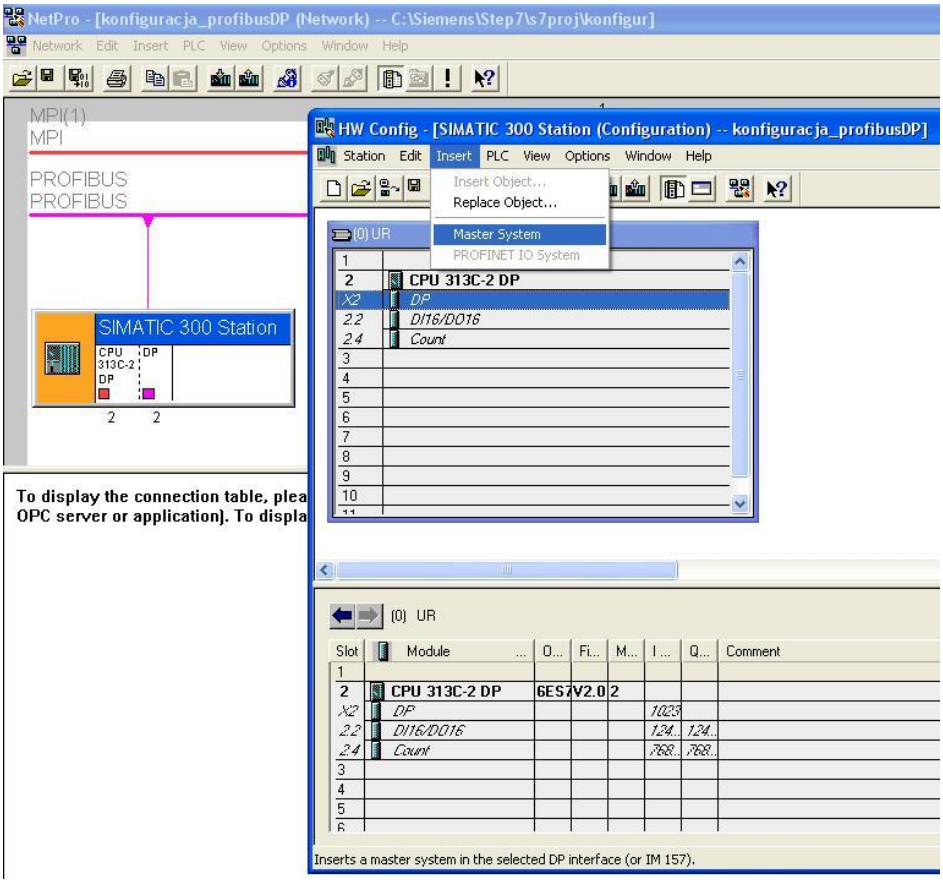
Rys. 2.8. Dodanie sieci PROFIBUS

Następnie należy otworzyć okno sieci PROFIBUS DP i podłączyć jednostkę nadrzędną (rysunek 2.9).



Rys. 2.9. Podłączenie stacji S7-300 do sieci PROFIBUS DP, okno NetPro

Następnie określamy stację Master (rysunek 2.10).

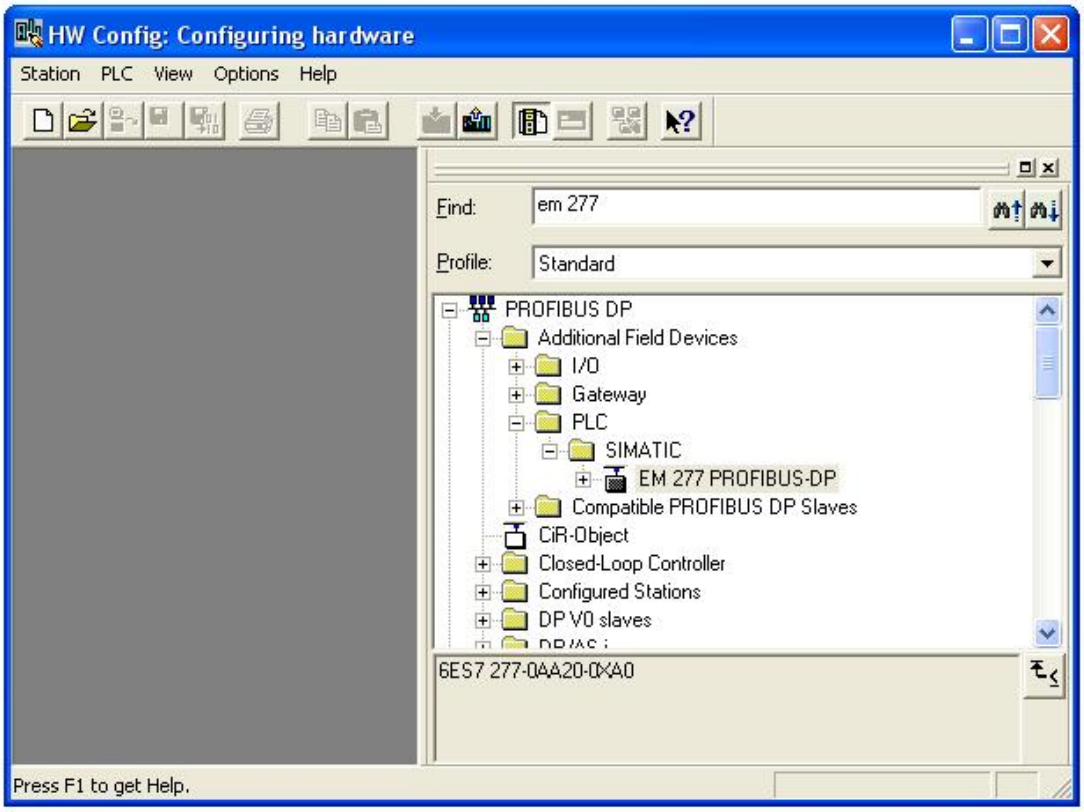


Rys. 2.10. Ustawienie stacji Master, okno NetPro

Określenie stacji Slave

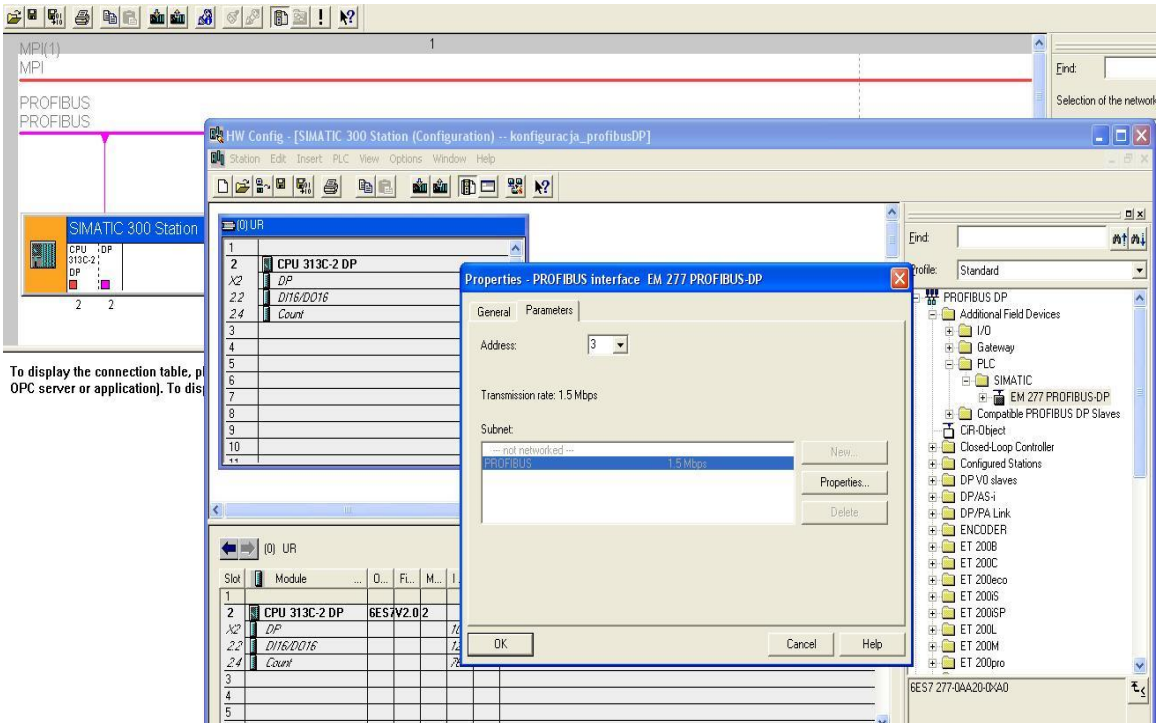
Podłączenie urządzenia podrzędnego do magistrali sieci PROFIBUS w oknie HW Config odbywa się poprzez jego wybór z bilioteki metodą *drag and drop*. W przypadku braku wymaganego urządzenia w bibliotece, należy je zainstalować. Z tego powodu kolejnym krokiem jest sprawdzenie czy w bibliotece jest zainstalowany składnik modułu EM 277. Jeśli moduł ten nie występuje należy skopiować odpowiedni plik .GSD z informacją o urządzeniu (istnieje możliwość pobrania go ze strony www.profibus.com do katalogu C:\Siemens\Step7\S7data\GSD), a następnie uruchomić ponownie program Step7. Instalowanie plików .GSD jest wymagane aby oprogramowanie STEP 7 miało dostęp do dodawanego urządzenia [27, 28]. Plik .GSD możemy zainstalować następująco:

1. Zakładka HW Config/Options/Instal GSD file
2. Następnie należy sprawdzić obecność urządzenia w panelu, tj. zakładka HW Config/View/Catalog/ PROFIBUS DP/Additional Field Devices/PLC/SIMATIC/EM 277 PROFIBUS-DP (rysunek 2.11).



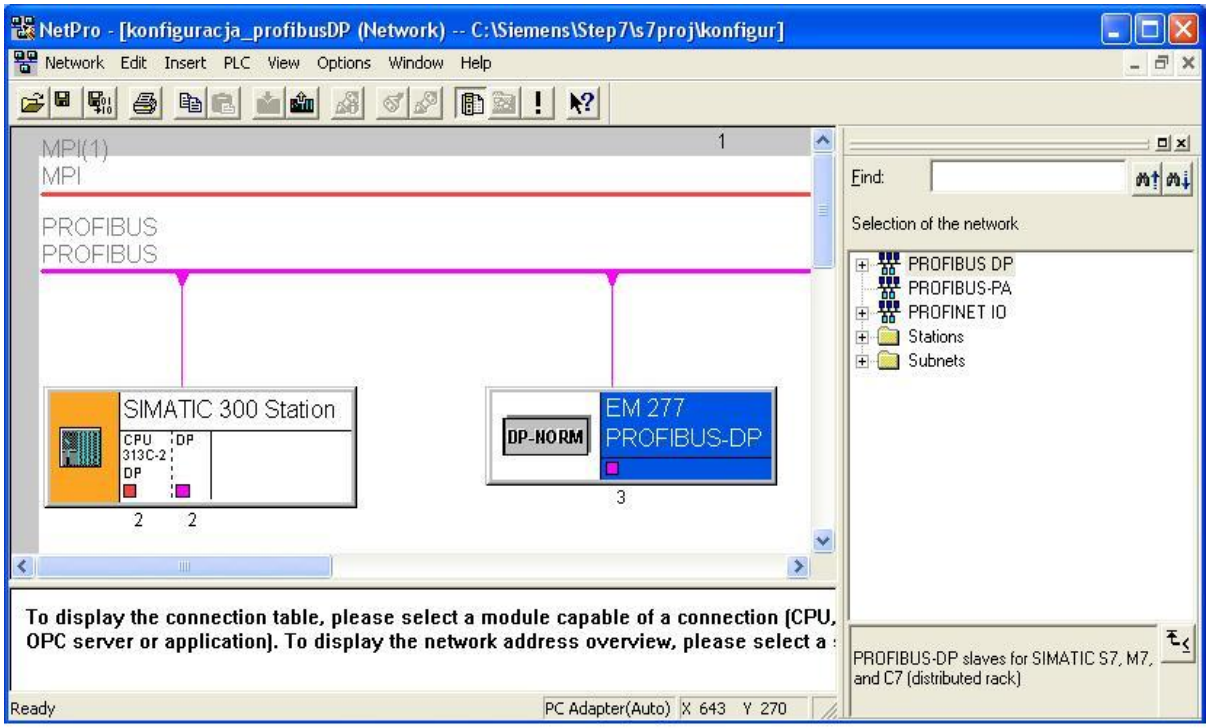
Rys. 2.11. Okno biblioteki z zainstalowanym modułem EM 277

Zakładamy w naszym projekcie, że jednostka nadrzędna ma adres 2 zaś moduł EM 277 adres 3. Właściwości modułu EM 277 i ustawienie jego adresu podczas dodawania do sieci DP przedstawia rysunek 2.12.



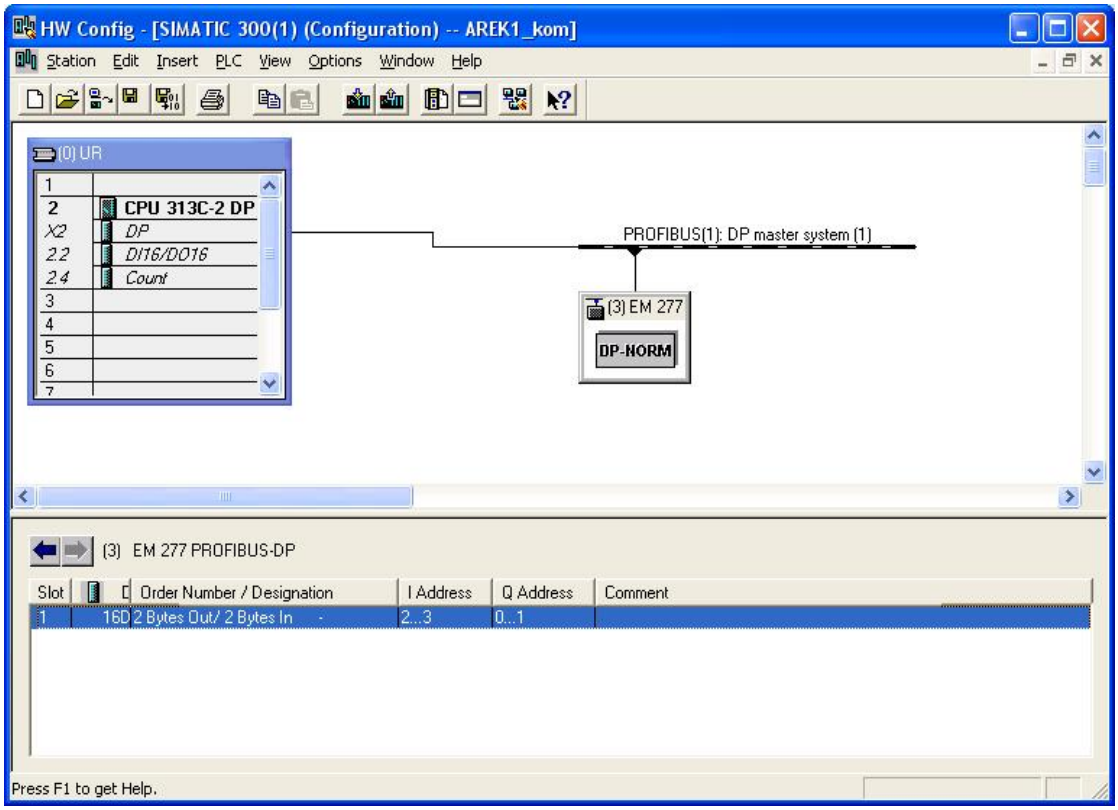
Rys. 2.12. Właściwości modułu EM 277, okno HW Config

Po prawidłowym dodaniu modułu EM 277, sieć DP powinna wyglądać, tak jak na rysunku 2.13.



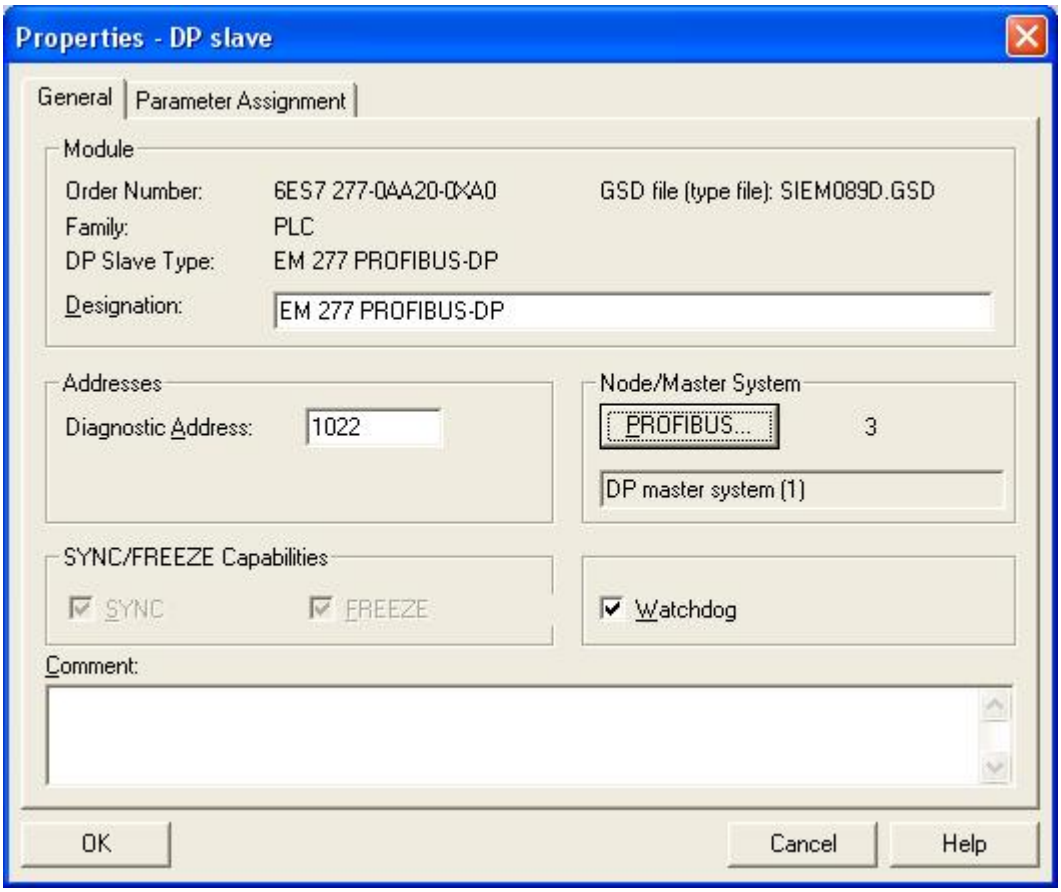
Rys. 2.13. Widok sieci DP, okno NetPro

Do wymiany danych moduł EM 277 wymaga dodania slotów pamięci. Moduł EM 277 obsługuje od 2 do 16 bajtów pamięci dla wejść/wyjść. Dodanie do modułu EM 277 2 bajtów we/wy przedstawiono na rysunku 2.14.



Rys. 2.14. Dodanie slotu pamięci do modułu EM 277

Następnie należy zdefiniować parametry pracy stacji Slave, czyli: adres diagnostyczny – adres wymagany do przeprowadzania operacji diagnostycznych stacji DP Slave oraz Watchdog – układ kontroli. Włączenie Watchdog oznacza, że w wypadku odcięcia/błędu komunikacji stacja DP Slave utrzymuje poprzednie stany na wyjściach. Okno do definicji parametrów stacji DP Slave przedstawiono na rysunku 2.15.



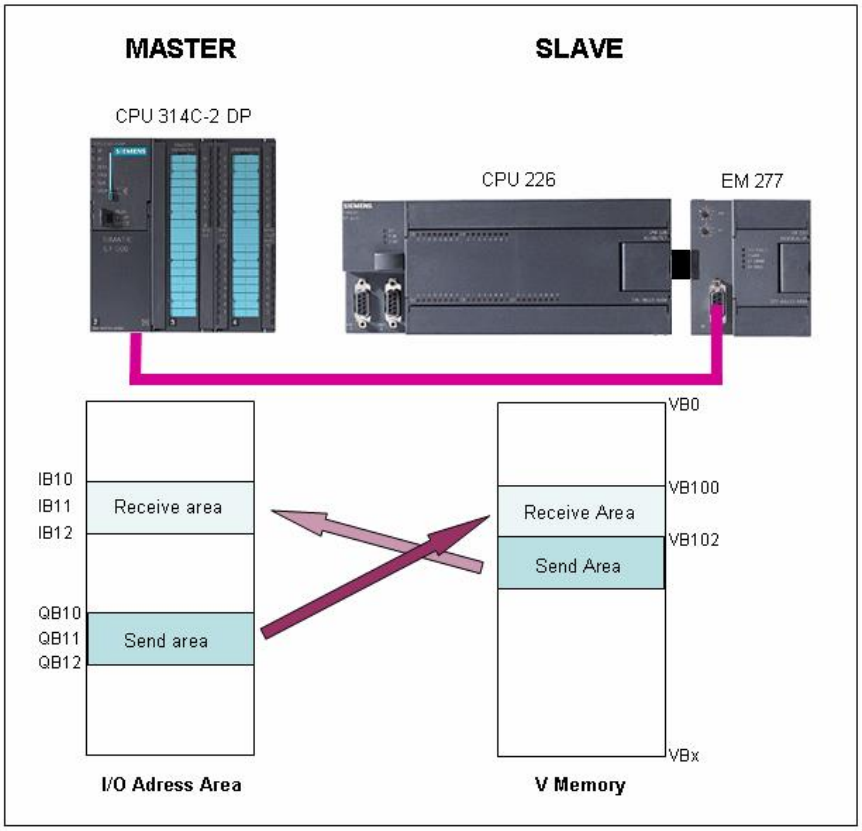
Rys. 2.15. Właściwości stacji DP Slave

Określenie przestrzeni adresowych dla odbioru i wysyłania danych

Aby komunikacja pomiędzy jednostkami S7-300, a S7-200 była możliwa, należy przypisać odpowiednie adresy dla wysyłania i odbierania danych. W stacji S7-200 należy używać modułów pamięci typu V (ang. *variables memory*). W naszym projekcie zdefiniowano 2 bajtową długość danych we/wy. Proponowane adresy dla komunikacji pomiędzy S7-300, a S7-200 (zgodnie z rys. 2.14, 2.17 i 2.18) wynoszą:

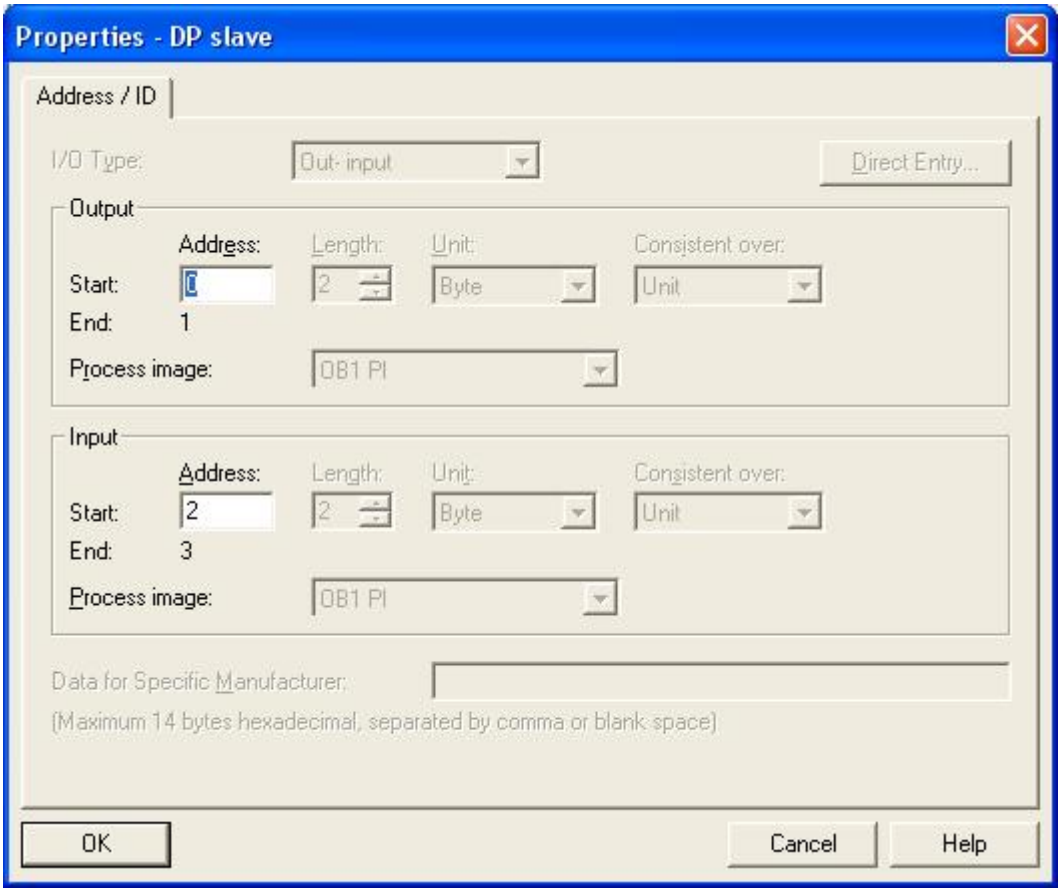
- odbieranie S7-300: PIB2, PIB3 (ang. *peripheral input byte*),
- wysyłanie S7-300: PQB0, PQB1 (ang. *peripheral output byte*),
- odbieranie S7-200: VB100, VB101 (ang. *V – variables memory type: byte*),
- wysyłanie 27-200 (udostępnianie danych dla S7-300): VB102, VB103.

Przestrzenie dla wymiany danych pomiędzy stacją Master a stacją Slave z modułem EM 277 przedstawiono na rysunku 2.16.



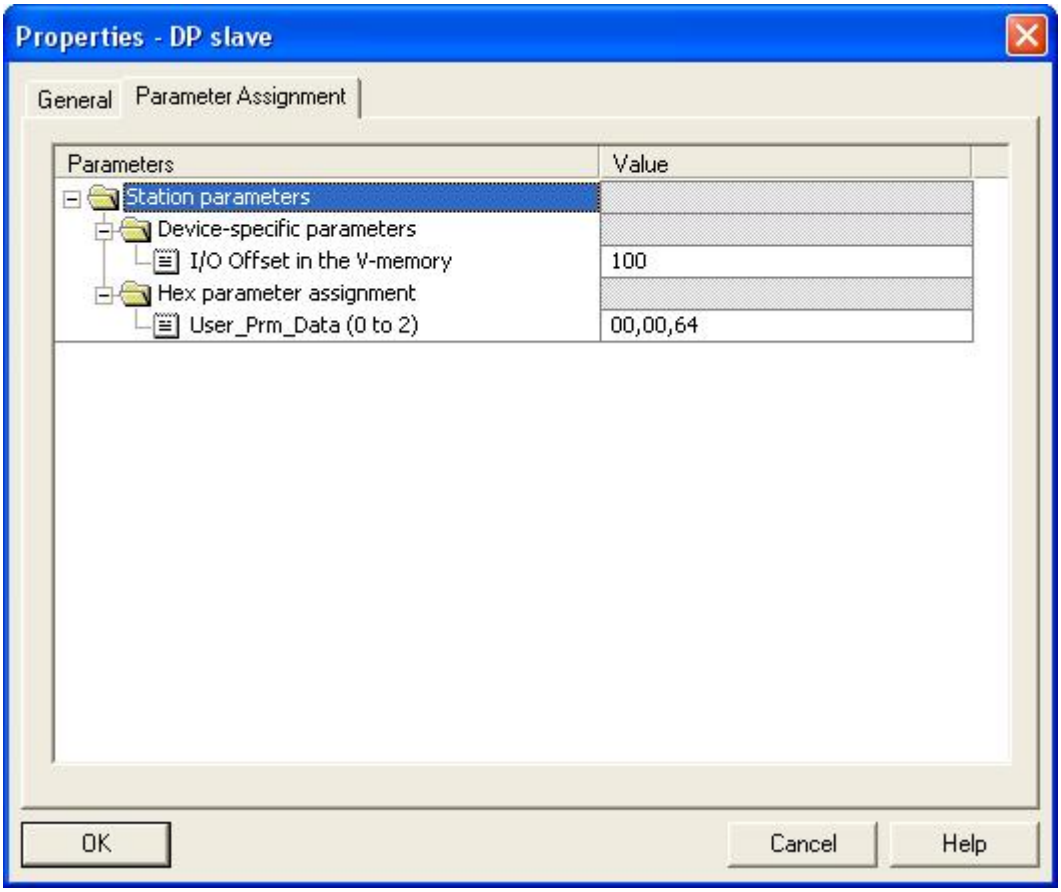
Rys. 2.16. Przestrzenie pamięci do wymiany danych w sieci DP [29]

Określenie adresów wejść/wyjść dla modułu EM 277 można modyfikować (rysunek 2.17).



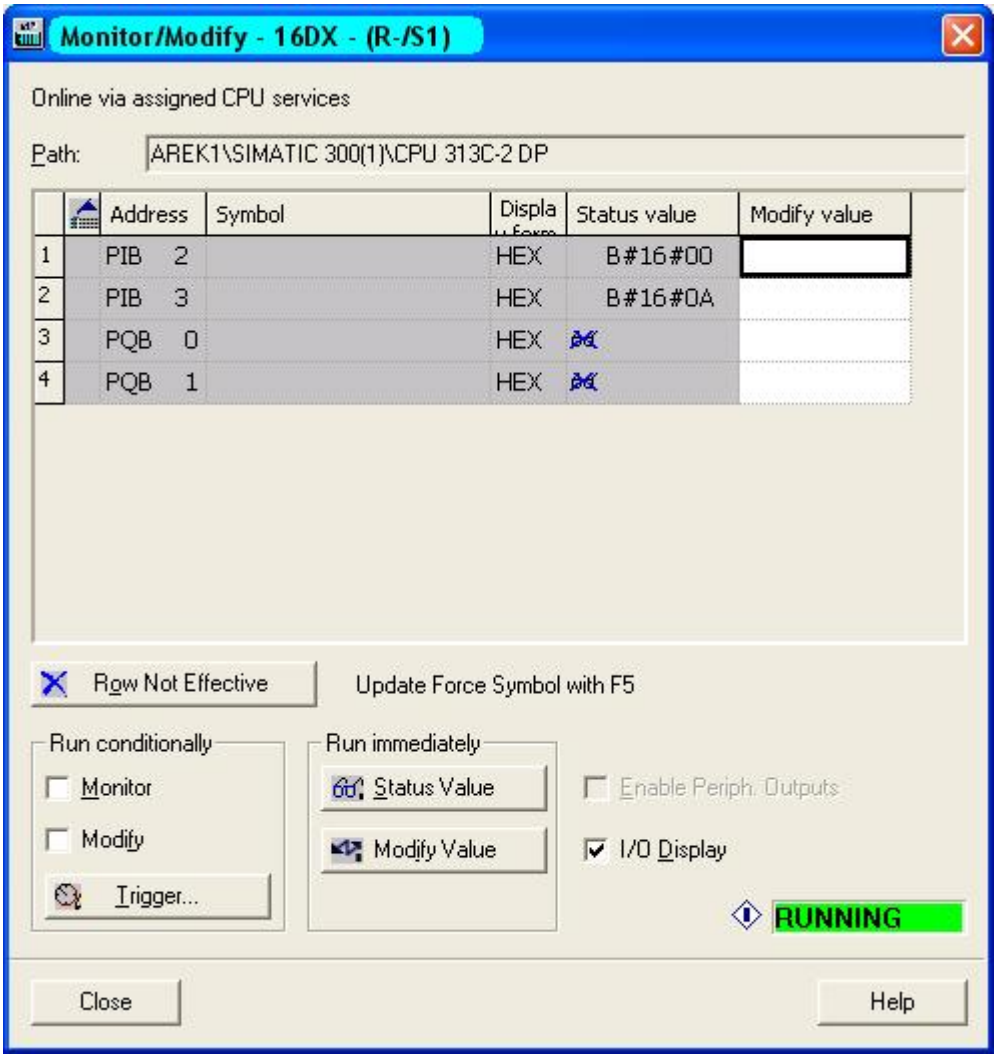
Rys. 2.17. Definiowanie adresów we/wy stacji DP Slave

Ustawienie początku, tzw. *offsetu* dla przestrzeni pamięci do wymiany danych w stacji Slave S7-200 (pamięć typu V) przedstawia rysunek 2.18. Jest to wartość przykładowa. Wartość *offset* może być zmieniana dowolnie w ramach zakresu pamięci V przeznaczonej dla usług sieciowych. Ustawienie wartości *offset* jest wymagane dla określenia obszaru danych przeznaczonych do odbierania i udostępniania danych po stronie sterownika S7-200.



Rys. 2.18. Ustawienie wartości offset w pamięci V, stacja S7-200

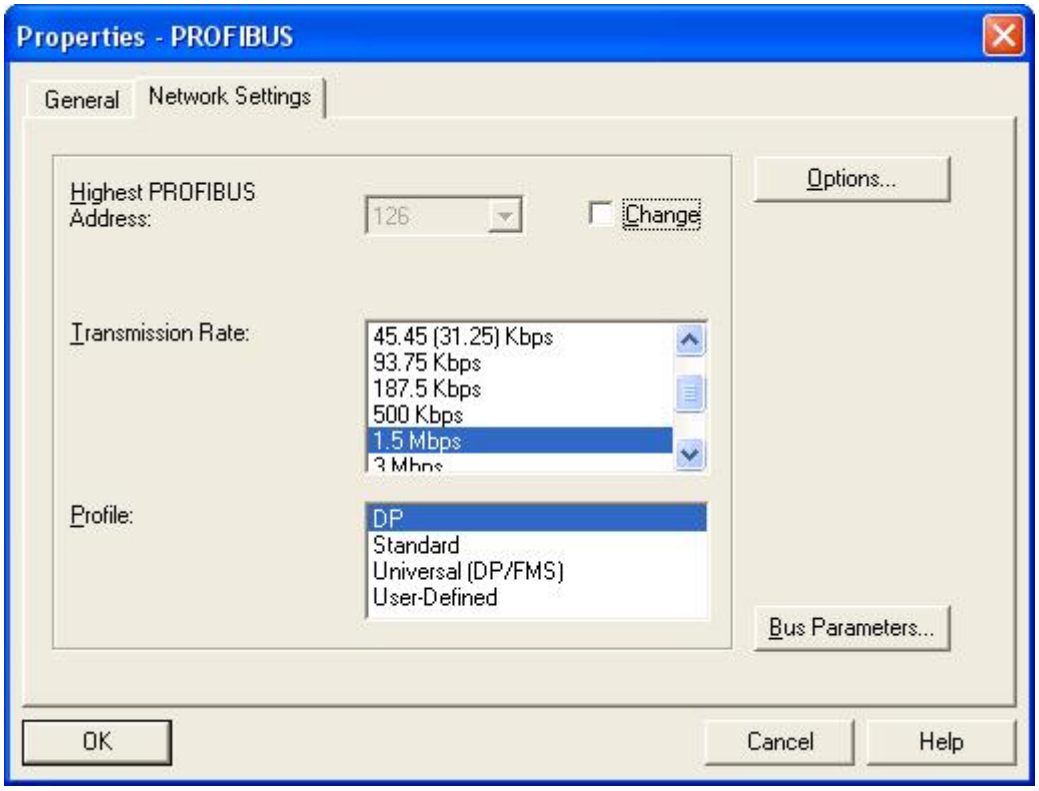
Podgląd wartości adresów pamięci do wymiany danych w sieci DP z strony jednostki Master (S7-300) przedstawiono na rysunku 2.19. Adresy wejść są oznaczone skrótem PIB (ang. *peripheral input byte*), natomiast adresy wyjść skrótem PQB (ang. *peripheral output byte*).



Rys. 2.19. Podgląd zmiennych, stacja S7-300, okno Monitor/Modify

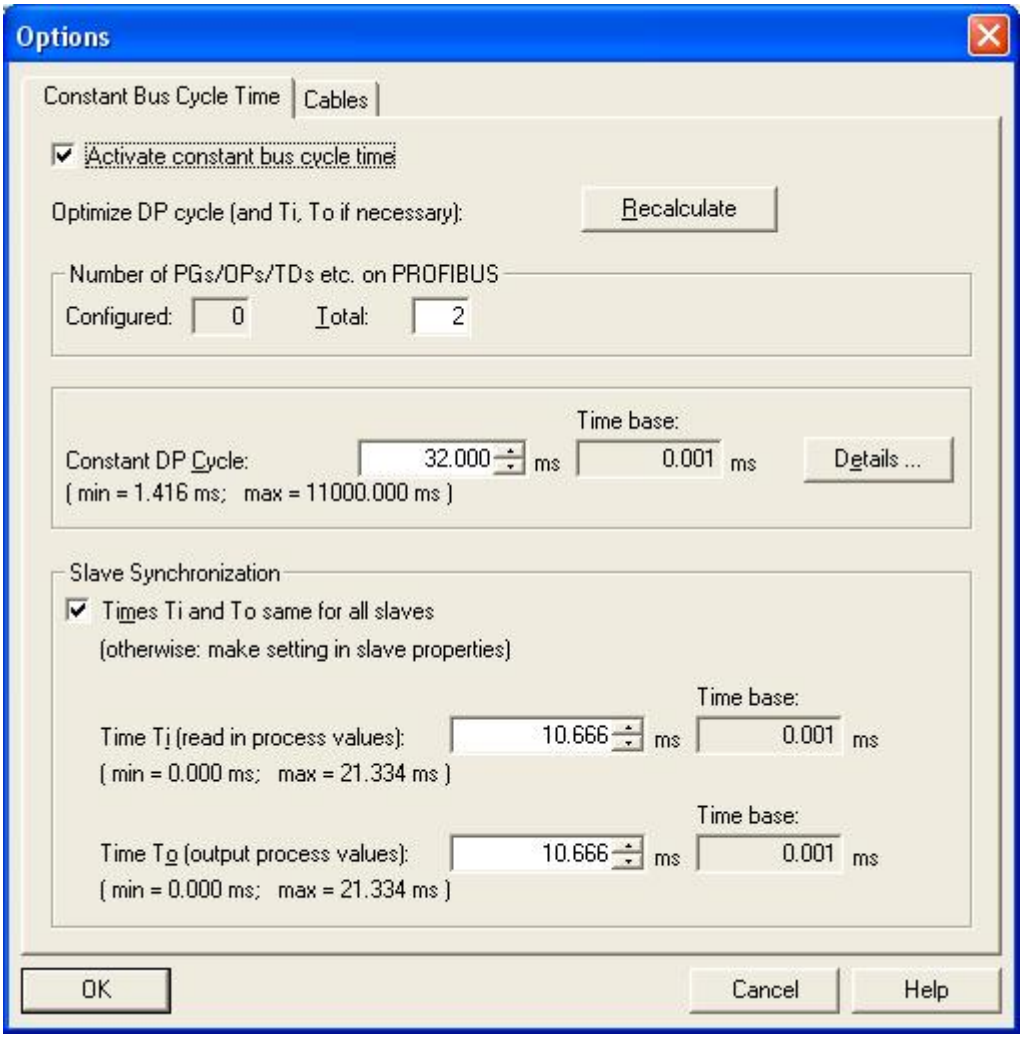
Zarządzanie parametrami pracy sieci PROFIBUS DP

Jednym z podstawowych parametrów pracy sieci PROFIBUS DP jest prędkość przesyłu danych. Sieć DP może pracować z różnymi wartościami prędkości zdefiniowanymi w rozdziale 1.1.7. Prędkość transmisji danych w magistrali w zależności od wybranego profilu może wynosić: 9.6 Kbit/s, 19.2 Kbit/s, 45.45 (31.25) Kbit/s, 93.75 Kbit/s, 187.5 Kbit/s, 500 Kbit/s, 1.5 Mb/s, 3 Mb/s, 6 Mb/s, 12 Mb/s. Maksymalna wartość prędkości z jaką może pracować sieć wynika z długości segmentu, liczby pracujących stacji, czasu odpowiedzi poszczególnych stacji, rodzaju medium użytego do transmisji danych, i wielu innych parametrów. Ustalenie prędkości przesyłu danych w sieci PROFIBUS DP jest definiowane w jednostce Master i jest wspólne dla wszystkich węzłów. Przykładowa prędkość sieci została zdefiniowana dla stacji Master w oknie na rysunku 2.20.



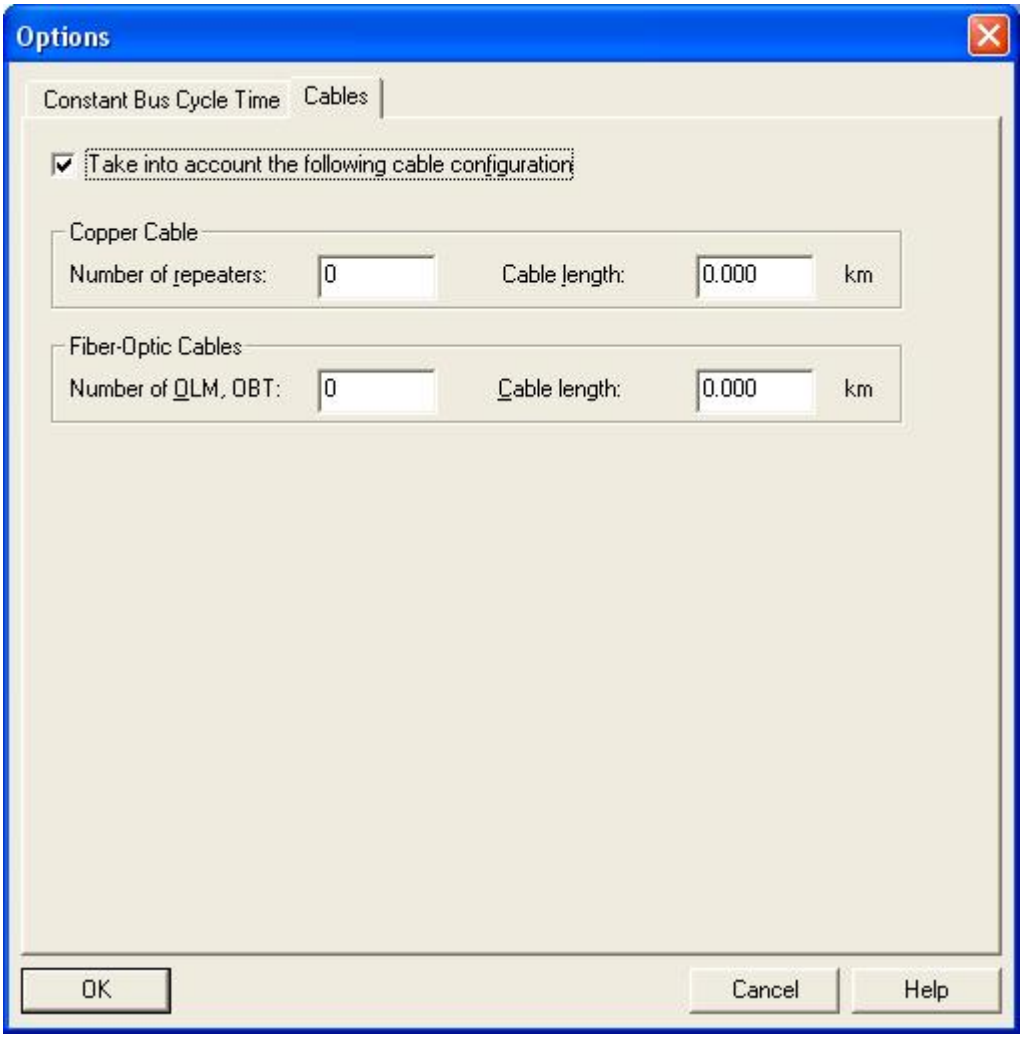
Rys. 2.20. Wybór prędkości i profilu sieci PROFIBUS, okno Properties - PROFIBUS

Użytkownik sieci PROFIBUS DP ma możliwość zmiany czasu cyklu sieci, tzn. sieć DP może pracować z stałym cyklem czasu zdefiniowanym przez użytkownika. Jeżeli wartość czasu cyklu będzie za mała, pojawią się błędy w transmisji danych na poziomie protokołu. Dokładna definicja ustawień stałego czasu cyklu sieci wychodzi poza zakres tego podręcznika. Ustawienie wartości cyklu sieci, czasów dla odczytu i zapisu i innych parametrów magistrali przedstawiono na rysunku 2.21.



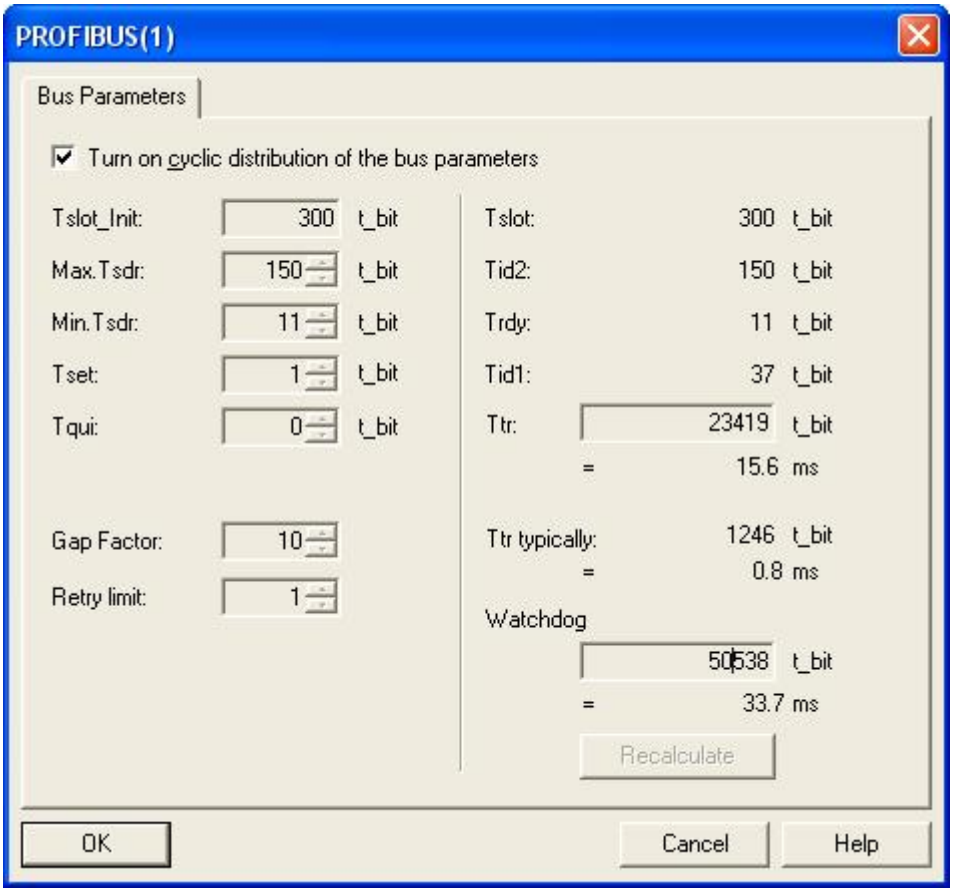
Rys. 2.21. Definicja parametrów magistrali, okno Options

Przy dużych odległościach pomiędzy stacjami w sieci PROFIBUS, w celu optymalizacji cyklu odświeżania należy zdefiniować długość i rodzaj przewodu komunikacyjnego, ilości wzmacniaczy (ang. *repeaters*), itd., (rysunek 2.22).



Rys. 2.22. Definicja parametrów okablowania sieci, okno Options/Cables

Okno do ustawiania wartości pozostałych parametrów magistrali PROFIBUS DP, z których najważniejsze to: Tslot_Init, Ttr, Retry limit, Watchdog, zostało przedstawione na rysunku 2.23. Dokładny opis wyżej wymienionych parametrów został podany w rozdziale 1.4.



Rys. 2.23. Parametry magistrali PROFIBUS

Zapis konfiguracji sieci PROFIBUS DP w pamięci stacji Master (CPU 313C-2 DP).

Po zakończeniu konfiguracji sieci PROFIBUS DP należy zapisać projekt, skompilować oraz przesłać/załadować konfigurację do modułu pamięci stacji Master.

Podczas programowania sterownika S7-300 do wymiany danych w sieci PROFIBUS DP z stacją S7-200 należy pamiętać, że wszystkie informacje wysłane przez stacje Master są przechowywane w tymczasowych blokach pamięci stacji Slave. Mogą one ulec nadpisaniu podczas ponownego przesyłu. Dlatego, aby móc korzystać z określonych informacji należy zapisać je w innych komórkach pamięci stacji S7-200. Bardzo ważne jest, jaką wielkość mają przesyłane dane i jak są odczytywane przez program. Może się zdarzyć, że podczas przesyłania 4 wyrazów danych zostaną one odebrane w innej kolejności niż zostały przesłane. Dlatego, gdy ważna jest kolejność przesyłanych danych należy użyć bufora, który poszereguje dane w odpowiedniej kolejności.

2.1.7. Zadanie

Proszę przeprowadzić konfigurację sieci PROFIBUS DP dla dostępnych stacji Master/Slave na stanowisku dydaktycznym w laboratorium sieci przemysłowych. Należy przesłać bajt zawierający bity zegara modułu CPU sterownika S7-300 (włączenie w właściwościach S7-300, zakładka 'HW Config/CPU…/Properties/CPU/Clock…') do stacji S7-200 lub ET200S. Następnie należy wyświetlić stany bitów zegara na wyjściach fizycznych jednostki S7-200 lub ET200S. Odebrane bity zegara w stacji S7-200 powinny być następnie udostępnione i z powrotem odebrane przez stację S7-300.

Wymagania dotyczące sprawozdania

Sprawozdanie powinno zawierać:
- konfigurację sieci PROFIBUS DP,
- konfigurację stacji S7-300 i S7-200/EM 277 lub ET200S,
- parametry użytych stacji Master/Slave,
- parametry skonfigurowanej sieci PROFIBUS DP,
- konfigurację przestrzeni pamięci wymiany danych,
- programy stacji S7-300 i S7-200 w języku STL,
- opis używanych zmiennych stacji S7-300 i S7-200,
- podgląd wartości zmiennych stacji S7-200 i S7-300,
- podsumowanie i wnioski.

2.2. Dwukierunkowa wymiany danych w sieci PROFIBUS DP

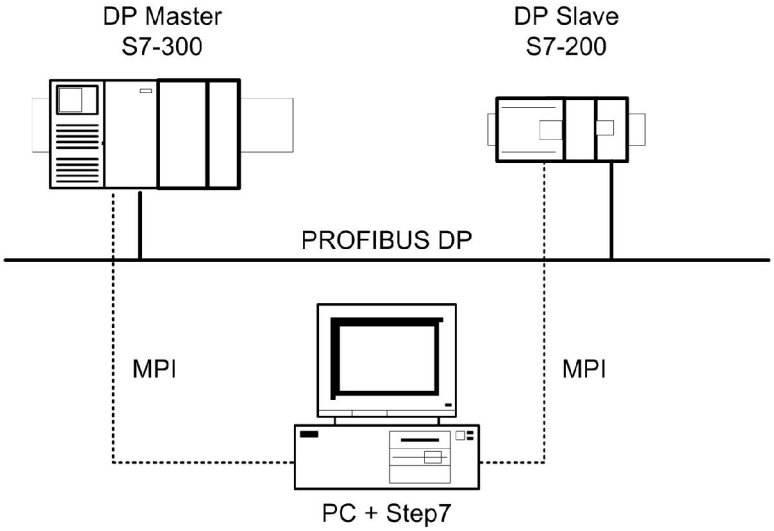
2.2.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest programowanie dwukierunkowej wymiany danych w sieci PROFIBUS DP z sprawdzeniem spójności danych pomiędzy stacją Master i Slave. Pozwoli to na przesyłanie/odświeżanie informacji (danych) pomiędzy sterownikami z wykorzystaniem funkcji sekwencyjnych SFC. Prawidłowa wymiana danych jest niezbędna podczas pracy urządzeń w aplikacjach przemysłowych, jak i w procesach diagnostycznych. Przesyłanie danych jest całościowe (odbywa się całymi bajtami/wyrazami/podwójnymi słowami) jest to niezwykle ważne zagadnienie spójności danych (ang. *Data Consistency*) wymagane do opanowania w przypadku sterowania np. napędami (ang. *drive control*) z wykorzystaniem oprogramowania *Motion Control* poprzez sieć PROFIBUS DP.

W celu realizacji ćwiczenia należy wykonać następujące zadania, które są zdefiniowane kolejno:
1. Konfiguracja sieci w HW Config
2. Programowanie funkcji SFC14 i SFC15 w jednostce Master S7-300.
3. Uruchomienie sieci – przesłanie przykładowych danych.
4. Zapisywanie danych do stacji DP Slave
5. Odczytywanie danych z stacji DP Slave
6. Wykonanie zadania polegającego na zdalnym sterowaniu szerokością impulsu dla sygnału prostokątnego generowanego przez stację Slave.

2.2.2. Wprowadzenie

W sieci PROFIBUS DP stacja Master generuje zapytania i żądania do stacji Slave. Żądania mogą wymagać potwierdzenia lub mogą być wolne od potwierdzeń. Ilość powtórzeń odpytywania stacji Slave jest możliwa do ustawienia (domyślnie jest równa 1). Jeżeli stacja Slave nie odpowie na zapytanie stacji Master, to stacja Master traktuje to jako błąd stacji Slave. Stacje Slave nie mogą generować zapytań, mogą tylko na nie odpowiadać. Schemat sieci PROFIBUS DP w naszym zadaniu przedstawiono na rysunku 2.24.



Rys. 2.24. Schemat połączeń w sieci PROFIBUS DP [29]

Typową cechą podczas wymiany danych z funkcjami SFC14/15 jest fakt, że wymianie najczęściej nie poddawane jest więcej niż 32 bity danych wejściowych i 32 bity danych wyjściowych podczas jednego cyklu. Niektóre jednostki nadrzędne PLC pozwalają na większy transfer danych. Ta zmienna długość wymiany danych zależna jest od stosowanych typów stacji DP. Stacje DP mogą tylko odbierać, tylko wysyłać lub jednocześnie odbierać i wysyłać dane. Wielkość przesyłanych danych dla każdej stacji jest zapisana w pliku .GSD producenta urządzenia.

2.2.3. Opis wymaganych funkcji do komunikacji

SFC 15 "DPWR_DAT"

Funkcja SFC 15 jest wymagana, aby móc przesłać więcej niż cztery ciągłe bajty danych w sieci PROFIBUS DP, które dostępne są poprzez podstawowe instrukcje dostępu danych I/O lub tablice obrazów wejść/wyjść. Podczas transferu dane są przesyłane w zwartych pakietach do adresata (np. stacji Slave) i w zależności od potrzeby do tablic wejść. Maksymalna wielkość przesyłanych informacji jest niezmienna i zależy od danego CPU, a informacje są przesyłane synchronicznie. Obszar danych źródłowych musi mieć tą samą długość, co wybrany moduł w STEP 7. Jeśli Slave ma budowę modułową to użytkownik będzie miał dostęp tylko do jednego modułu. Opis parametrów funkcji SFC 15 zebrano w tabeli 2.4.

Tabela 2.4. Opis parametrów funkcji SFC 15

parametr	rodzaj	Typ	pamięć	opis
LADDR	wejście	Słowo	I,Q,M,D,L	Konfiguracja początkowych adresów z obrazu wyjścia modułu, do którego zostaną przesłane dane. Adresy powinny być podane w kodzie szesnastkowym.
RECORD	wejście	Każdy	I,Q,M,D,L	Źródło dla danych użytkownika. Ten rodzaj musi być dokładnie taki sam, jaki został skonfigurowany w wybranym module. Tylko typ bajt jest dozwolony.
RET_VAL	wyjście	Całkowite	I,Q,M,D,L	Gdy wystąpi błąd, podczas gdy funkcja jest aktywna, wartość wyjściowa poda komunikat

				o błędzie.

Najważniejsze komunikaty/kody błędów zostały zebrane i przedstawione w tabel 2.5.

Tabela 2.5. Komunikaty błędów funkcji SFC 15

Kod (W#16#...)	Znaczenie
0000	Błąd nie wystąpił
808x	Błąd systemu problem z podłączonym urządzeniem DP
8090	Nie został skonfigurowany moduł dla specyficznych logicznych adresów lub Zignorowana wielkość danych lub Nie został przypisany adres początkowy parametru LADDR w formacie szesnastkowym
8092	Przypisano inny typ niż bajt
8093	Nie istnieje moduł DP, w którym można zapisać dane z LADDR
80A1	Błąd przy nawiązywaniu połączenia z I/O
80B0	Błąd Slave
80B1	Długość danych źródłowych jest inna niż zadeklarowana w Step7
80B2	Błąd systemowy w urządzeniu podrzędnym
80B3	Błąd systemowy w urządzeniu podrzędnym
80C1	Dane z poprzednio zapisanego zadania nie zostały przetworzone przez moduł
80C2	Błąd systemowy w urządzeniu podrzędnym
80Fx	Błąd systemowy w urządzeniu podrzędnym
85xy	Błąd systemowy w urządzeniu podrzędnym

SFC14 "DPRD_DAT"

Funkcja SFC 14 jest wymagana, aby móc odebrać/otrzymać więcej niż cztery ciągłe bajty danych, które dostępne są poprzez podstawowe instrukcje dostępu I/O lub tablice obrazów wejść/wyjść. Podczas transferu dane są przesyłane w zwartych pakietach do adresata (Master) i w zależności od potrzeby do tablic wejść. Maksymalna wielkość przesyłanych informacji jest niezmienna i zależy od danego CPU, a informacje są przesyłane synchronicznie. Obszar danych źródłowych musi mieć tą samą długość, co wybrany moduł w STEP 7. Jeśli stacja Slave ma budowę modułową to użytkownik będzie miał dostęp tylko do jednego modułu. Opis parametrów funkcji SFC 14 przedstawiono w tabeli 2.6.

Tabela 2.6. Opis parametrów funkcji SFC 14

Parametr	rodzaj	Typ	pamięć	opis
LADDR	wejście	Słowo	I,Q,M,D,L	Konfiguracja początkowych adresów z źródła wejść, do którego zostaną przesłane dane. Adresy powinny być podane w kodzie szesnastkowym.
RECORD	wejście	każdy	I,Q,M,D,L	Źródło dla danych użytkownika. Ten rodzaj musi być dokładnie taki sam, jaki został skonfigurowany w wybranym module. Tylko typ bajt jest dozwolony.
RET_VAL	wyjście	Całkowite	I,Q,M,D,L	Gdy wystąpi błąd, podczas gdy funkcja jest aktywna, wartość wyjściowa poda komunikat o błędzie.

Komunikaty o błędach działania funkcji SFC 14 zebrano i przedstawiono w tabeli 2.7.

Tabela 2.7. Kody błędów funkcji SFC 14

Kod (W#16#...)	Znaczenie
0000	Błąd nie wystąpił
8090	Nie został skonfigurowany moduł dla specyficznych logicznych adresów lub Zignorowana wielkość danych lub Nie został przypisany adres początkowy parametru LADDR w formacie szesnastkowym
8092	Przypisano inny typ niż bajt
9093	Nie istnieje moduł DP, w którym można zapisać dane z LADDR
80A0	Wybrany moduł jest nie właściwy
80B0	Błąd Slave
80B1	Długość danych źródłowych jest inna niż zadeklarowana w Step7
80B2	Błąd systemowy w urządzeniu podrzędnym
80B3	Błąd systemowy w urządzeniu podrzędnym
80C0	Dane z poprzednio zapisanego zadania nie zostały przetworzone przez moduł
80C2	Błąd systemowy w urządzeniu podrzędnym
80Fx	Błąd systemowy w urządzeniu podrzędnym
87xy	Błąd systemowy w urządzeniu podrzędnym
808x	Błąd systemu problem z podłączonym urządzeniem DP

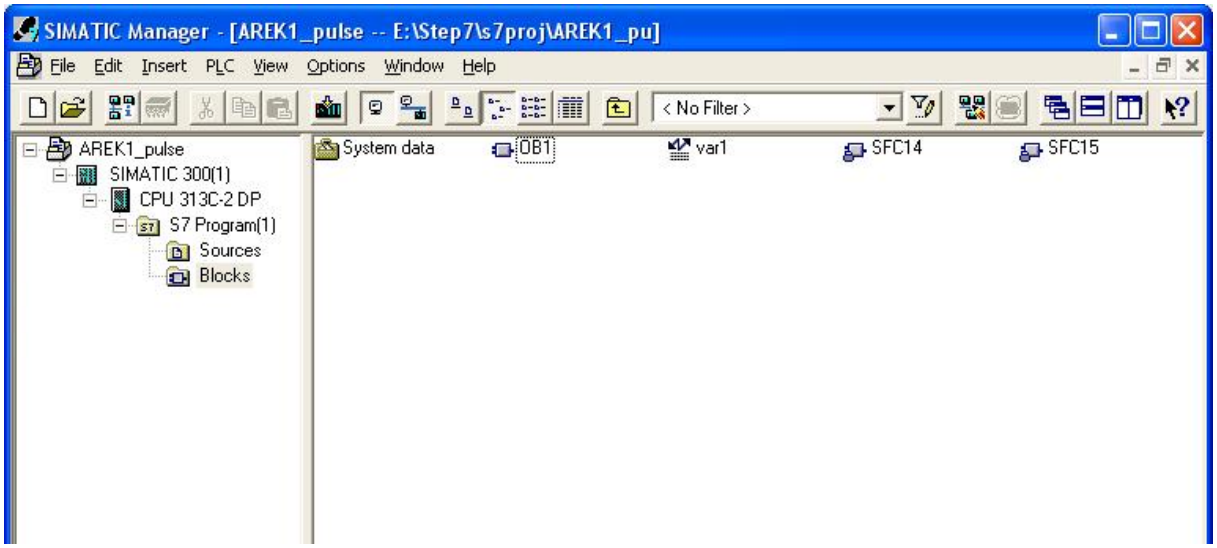
2.2.4. Zadanie

Należy zrealizować program generujący przebieg prostokątny sygnału sterującego regulatora dwupołożeniowego w sterowniku Slave S7-200 (CPU 222) z modułem komunikacyjnym EM 277. Program w stacji Master S7-300 (CPU 313C-2DP) powinien umożliwiać zmianę współczynnika wypełnienia sygnału/przebiegu PWM poprzez sieć PROFIBUS DP oraz powinien odbierać dane z stacji Slave (stany sygnału PWM) poprzez sieć DP. W stacji Slave program ma możliwość zadawania długości okresu przebiegu sygnału. Układ powinien być uruchamiany po naciśnięciu przycisku i powinien pracować samoczynnie po zwolnieniu przycisku oraz posiadać przycisk *pauza*. Układ powinien mieć wyjście proste generatora PWM oraz wyjście zanegowane. Proponowane bloki funkcyjne do wykorzystania w S7-200:

- liczniki zliczające „w górę”,
- układy zliczające czas,
- bloki matematyczne,
- styki otwarte, zamknięte,
- cewki otwarte, zamknięte, uruchamiane zboczem narastającym.

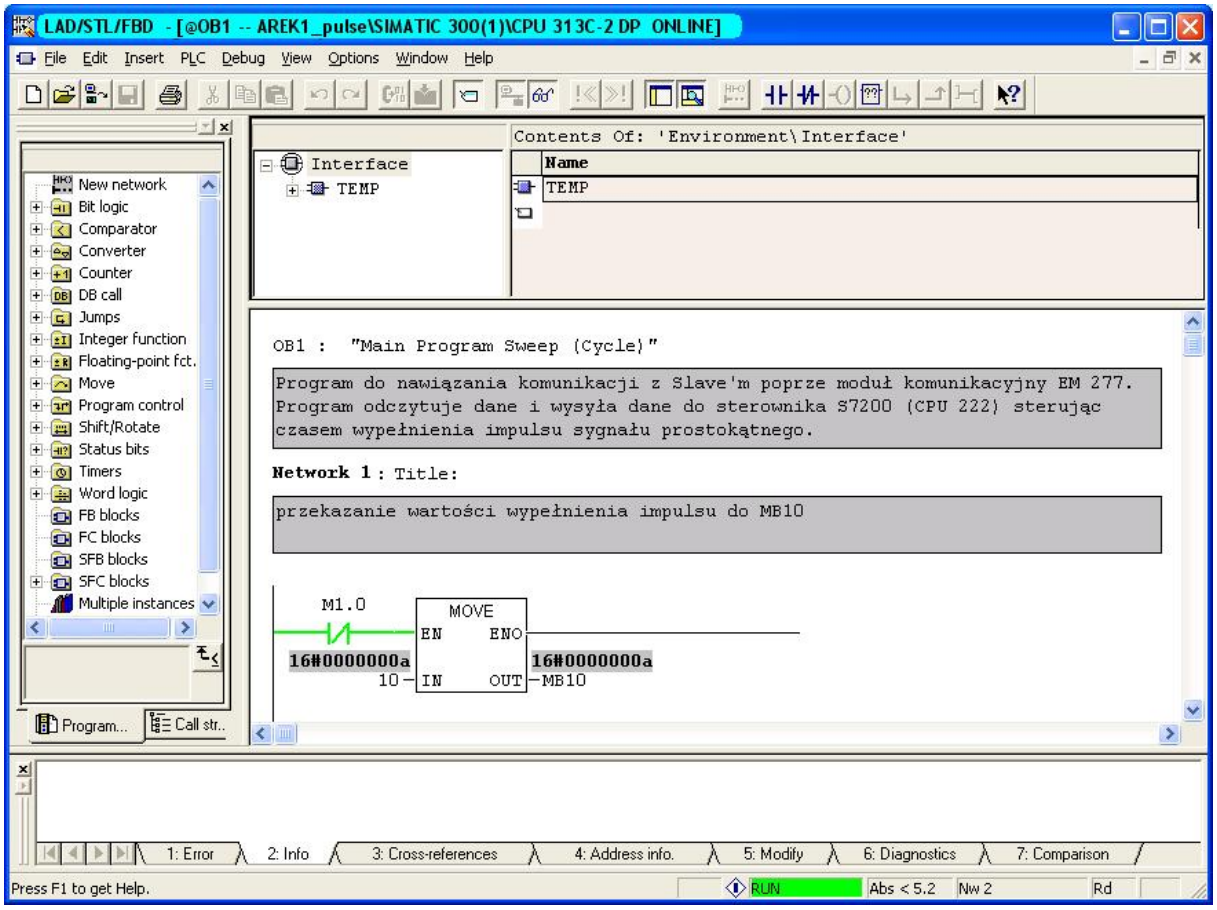
Proponowane rozwiązanie nawiązania komunikacji sieciowej w ramach zadania.

Konfiguracja bloków stacji Master została przedstawiona na rysunku 2.26.



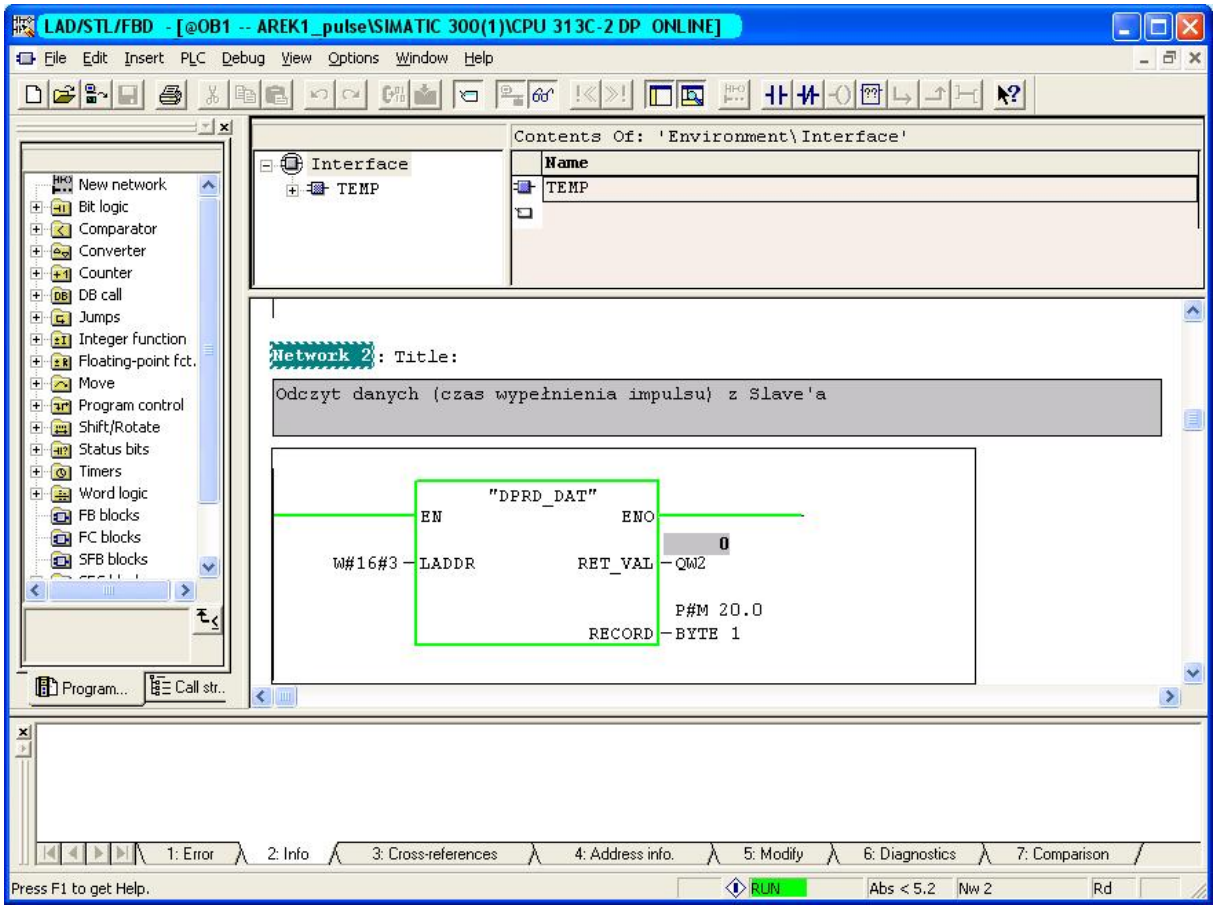
Rys. 2.26. Bloki programowe stacji S7-300, okno Simatic Manager

Przekazanie wartości zadanych do wysłania w bloku OB1 pokazano na rysunku 2.27.



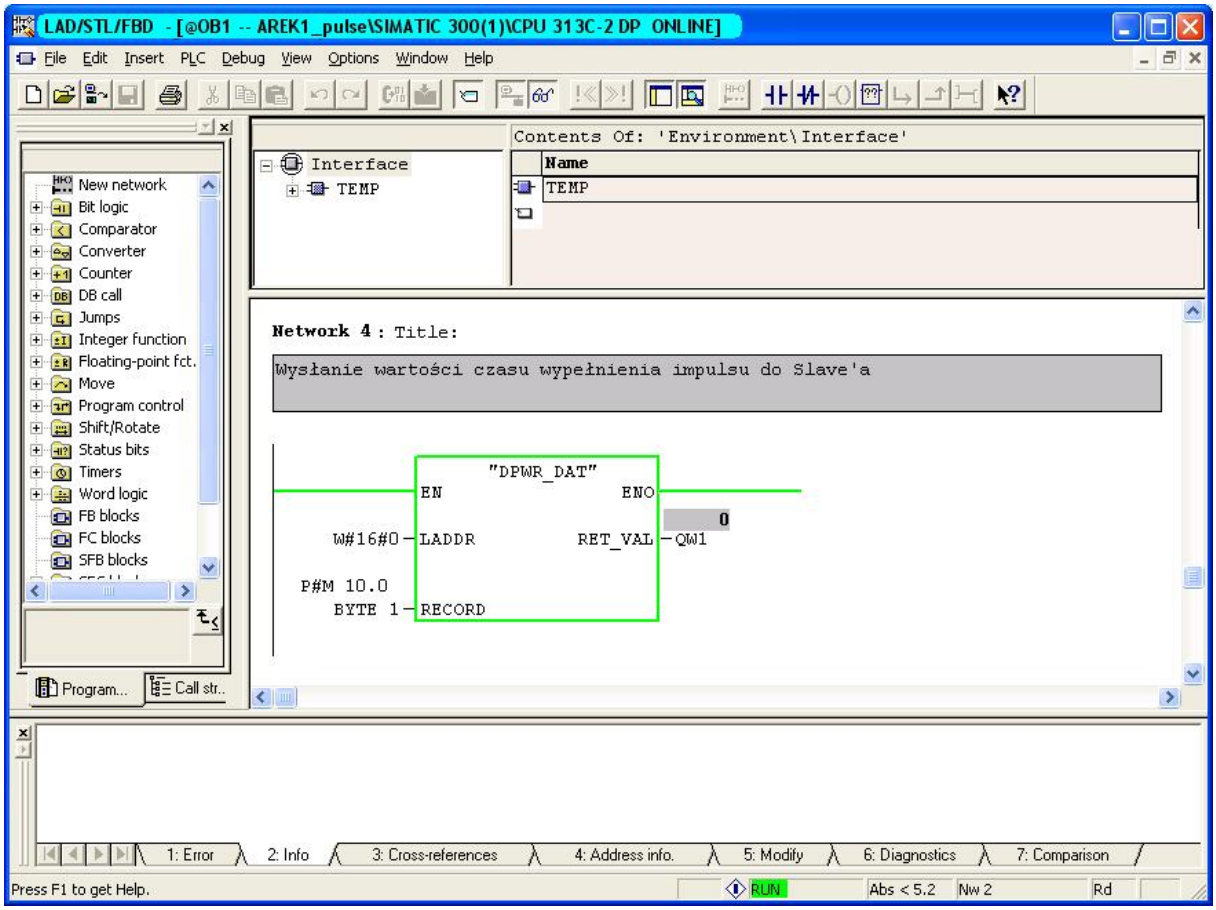
Rys. 2.27. Dane do wysyłania w bloku OB1

Konfiguracja funkcji do odczytu danych DPRD_DAT w bloku OB1 (rysunek 2.28).



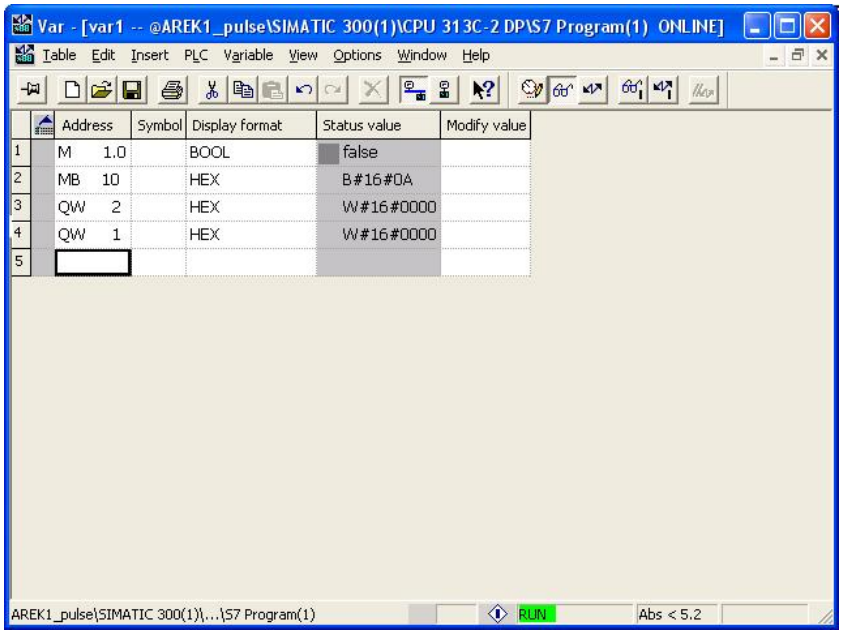
Rys. 2.28. Funkcja do odczytywania/odbierania danych z sieci DP

Konfiguracja funkcji DPWR_DAT w bloku OB1 (rysunek 2.29).



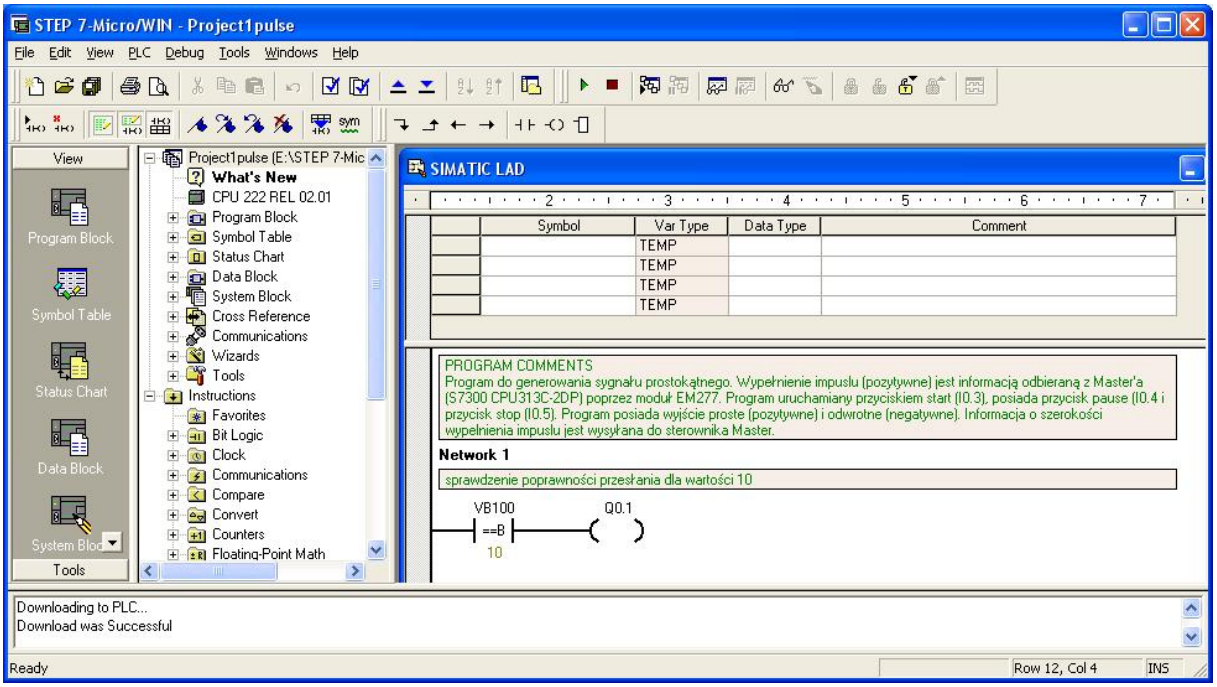
Rys. 2.29. Funkcja do zapisu/wysyłania danych w sieci DP

Przykładowa tablica podglądu wartości zmiennych wykorzystanych w stacji S7-300 (rysunek 2.30).



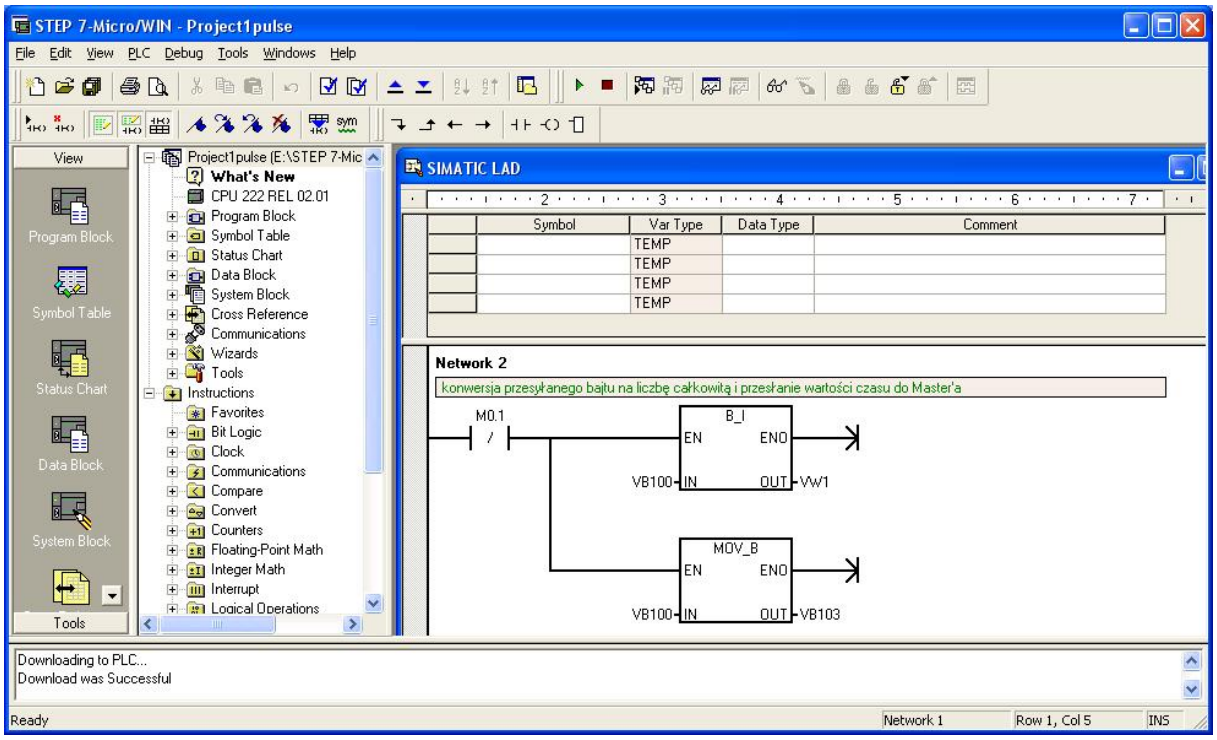
Rys. 2.30. Podgląd zmiennych w stacji S7-300, okno Var

Sprawdzenie poprawności odbioru danych w stacji Slave (S7-200) przedstawiono na rysunku 2.31.



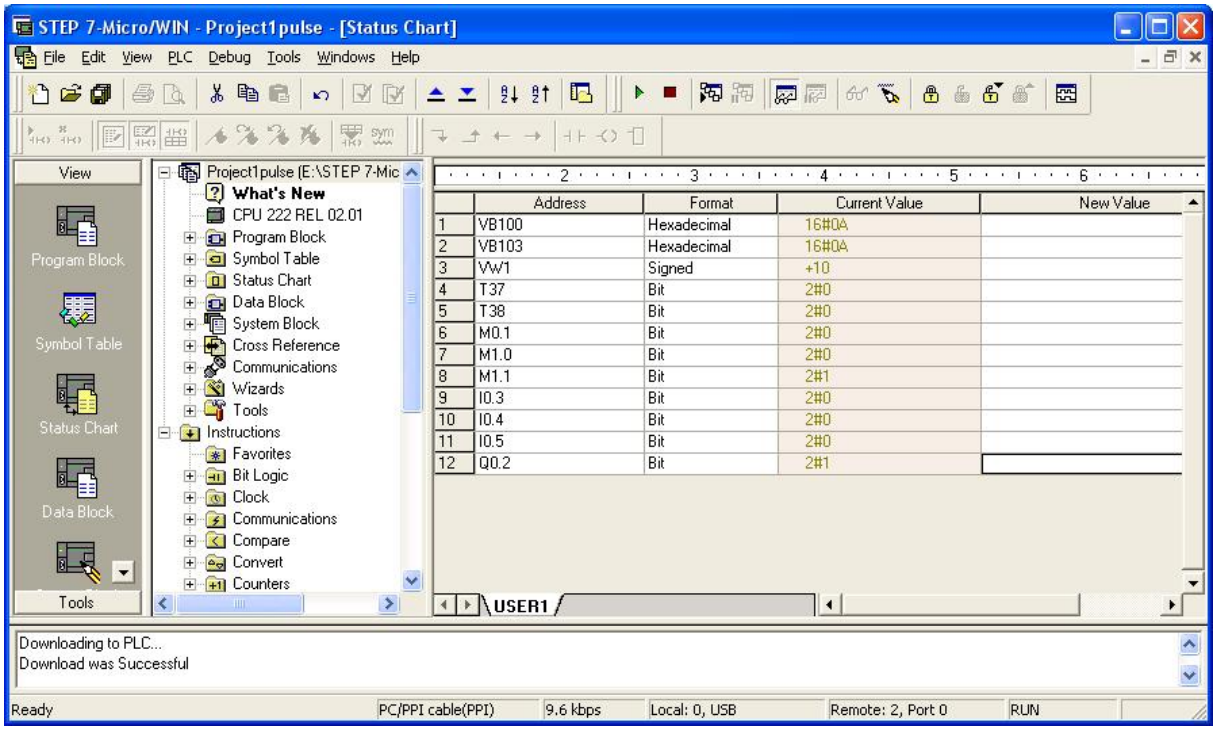
Rys. 2.31. Porównanie wartości bajtu VB100

Konwersja odbioru danych z stacji Master w stacji S7-200 i udostępnienie danych do odebrania przez stację Master przedstawiono na rysunku 2.32.



Rys. 2.32. Zmiana formatu odebranych danych VB100 i ich kopiowanie do VB103

Przykładowa tablica zmiennych stacji Slave (S7-200) została przedstawiona na rysunku 2.33.



Rys. 2.33. Tablica zmiennych stacji S7-200

Generowanie sygnału prostokątnego w sterowniku S7-200, można zrealizować na wiele sposobów [11, 12], np.:

- pomocne może być wykorzystanie bitów statusowych SMB (ang. *special memory bits*), np. pulsu 1 sekundowego o adresie SM0.5,
- użycie timera z samoczynnym kasowaniem i odpowiednie sterowanie im, np.:

```
Network 1
LDN     M0.0       //bit wyzwalający timer
TON     T33, +100  //timer T33 o podstawie 10ms, czas zadany wynosi 100x10ms=1s
Network 2
LDW>=   T33, +50   //sprawdzenie wartości bieżącej timera
=       Q0.0       //załącz Q0.0 po 0.5s dla fali 50% OFF 50% ON
Network 3
LD      T33
=       M0.0       //kasowanie timera T33 przez bit M0.0 po czasie 1s.
```

Wymagania dotyczące sprawozdania.

Sprawozdanie powinno zawierać:

- opis poszczególnych etapów realizacji zadania,
- konfiguracja sieci DP w stacji S7-300,
- konfiguracja jednostek S7-300 i S7-200,
- programy sterujące stacji Slave i stacji Master w języku STL,
- tablice podglądu zmiennych stacji S7-300 i S7-200,
- ustawienie parametrów sieci PROFIBUS DP takich jak: ilość powtórzeń zapytań stacji Slave, Watchdog, ID, itp.
- opis użytych funkcji, wyjaśnienie parametrów funkcji,
- opis napotykanych komunikatów błędu komunikacji.

2.3. Diagnostyka sieci PROFIBUS DP i stacji Master/Slave

2.3.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wykształcenie metod i funkcji służących do diagnostyki poprawności działania sieci PROFIBUS DP oraz do analizy błędów stacji Master/Slave.

W celu realizacji ćwiczenia należy wykonać następujące zadania:

1. Konfiguracja i uruchomienie sieci PROFIBUS DP z dostępnymi stacjami.
2. Wykorzystanie funkcji bloku OB86 i SFC13 (stacja S7-300) do diagnostyki i analizy błędów sieci.
3. Symulacja uszkodzeń sieci.
4. Wykrywanie uszkodzeń/błędów sieci/urządzeń i ich identyfikacja.

2.3.2. Wprowadzenie

Diagnostyka stacji w sieci DP pozwala na określenie poprawności działania urządzeń I/O (ang. *input/output*) sterowanych poprzez standard PROFIBUS DP i pracujących w sieci DP. Niezwykle ważnym zagadnieniem jest tutaj zarządzanie czasem cyklu sieci. Czas obiegu znacznika/żetonu (ang. *token*) T_{TR} w sieci jest opisany następująco [16, 21]:

$$\min T_{TR} = n_a \cdot (T_{TC} + high\,T_{MC}) + k \cdot low\,T_{MC} + m_t \cdot RET\,T_{MC} \qquad (2.1)$$

gdzie:
n_a – liczba aktywnych stacji (węzły nadrzędne),
k – przewidywana liczba cykli przesyłania wiadomości o niskim priorytecie w trakcie jednej rotacji znacznika,
T_{TC} – czas potrzebny na przekazanie znacznika do następnej stacji,
T_{MC} – czas trwania cyklu przekazywania wiadomości w zależności od długości ramki,
m_t – liczba powtórzeń cyklu przekazywania wiadomości w trakcie jednej rotacji znacznika,
$RET\,T_{MC}$ – czas trwania cyklu powtórnego przekazywania wiadomości.

W ramach jednego cyklu sieci realizowane jest szereg zadań. Cykl sieci składa się z czasu stałego wymaganego do inicjacji komunikacji pomiędzy stacjami sieci i czasu zmiennego (cykl sieci = czas stały + czas zmienny). W ramach czasu zmiennego są realizowane następujące zadania sieci:
- powtórzenia transmisji,
- obsługa błędów,
-diagnostyka,
-przesył danych,
-obsługa np. paneli programatorów PG (ang. *programmable device*).

Czas cyklu sieci obejmuje przekazanie wszystkich wiadomości ze wszystkich stacji. Czas cyklu sieci może być mniejszy niż czas cyklu programu w jednostce centralnej, który średnio wynosi ok. 10ms dla większości aplikacji. Jednakże szybka praca sieci nie jest wystarczająca. Dodatkowo wymagana jest prosta obsługa, skuteczna diagnostyka i praca urządzeń sieciowych bez zakłóceń/przekłamania transmisji. Standard PROFIBUS DP zapewnia optimum wymagań stawianych sieciom przemysłowym. Sieć DP potrzebuje ok. 1ms przy prędkości 12 Mbit/s, aby przesłać 512 bitów wejściowych oraz 512 bitów wyjściowych danych przesyłanych do/z 32 stacji w ramach jednego segmentu. W protokole DP,

dane wejściowe i wyjściowe transmitowane są w jednym cyklu transmisyjnym wiadomości. Dane użytkownika DP transmitowane są przy użyciu usługi sieciowej SRD (ang. *Send and Receive Data Service*) warstwy drugiej modelu OSI.
Rozszerzona diagnostyka funkcjonalna w sieci DP pozwala na szybką lokalizację awarii. Ramka diagnostyczna transmitowana jest w sieci do stacji Master. Wiadomość ta dzieli się na trzy poziomy:

1. Diagnostyka określana dla urządzenia – tego typu informacje dotyczą ogólnych informacji stacji, takich jak „przegrzanie", „niskie napięcie" lub „ problemy z interfejsem".
2. Diagnostyka zorientowana na moduły – tego typu diagnostyka odnosi się do określonych modułów I/O danej stacji (np. 8-bitowe moduły wyjście).
3. Diagnostyka zorientowana na kanał – tego typu diagnostyka określa awarię zorientowaną na poszczególne bity wejść/wyjść (kanał), takie jak np. „zwarcie wyjścia".

Diagnostyka stacji Master na podstawie znaczenia diod modułu CPU.

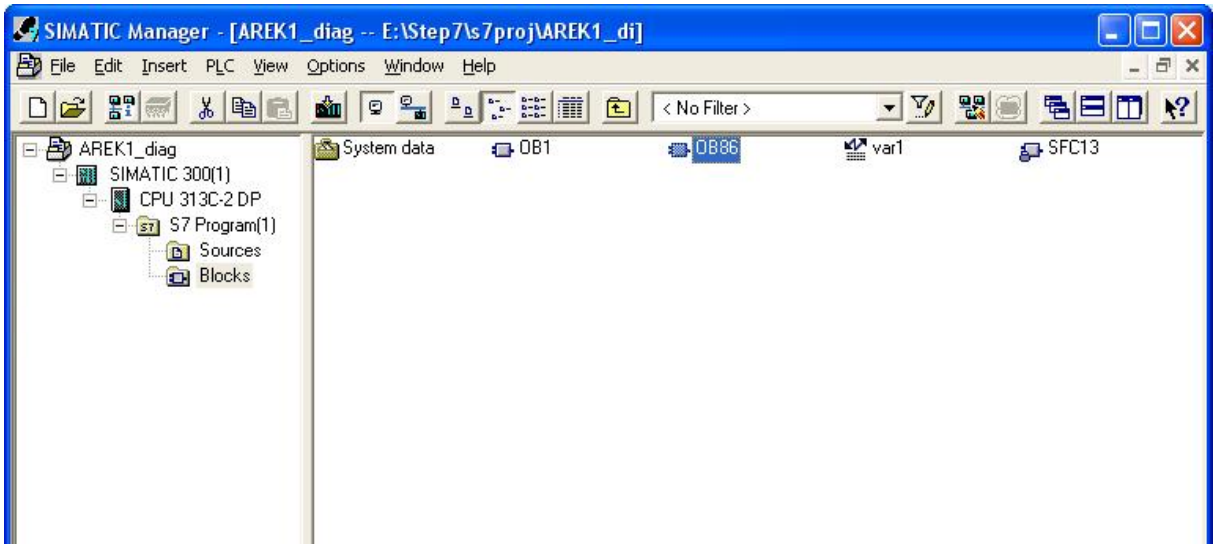
Diody przypisane interfejsowi PROFIBUS DP powinny podczas startu urządzenia być aktywne. Znaczenie diod w sterowniku S7-300 przedstawiono w tabeli 2.8.

Tabela 2.8. Znaczenie diody BUS w CPU 31x-2 [29]

Dioda	Znaczenie	Porada
wyłączone	Poprana konfiguracja	-
migają	Brak połączenia CPU 31x-2 z DP master Powody: • upłynął czas • błąd komunikacji w PROFIBUS DP • niewłaściwy adres PROFIBUS	• Sprawdź CPU • Sprawdź przyłączenia i wtyczki • Sprawdź kabel czy nie został uszkodzony • Sprawdź parametry i konfiguracje sieci
włączone	Zwarcie sieci	Sprawdź konfiguracje sieci

2.3.3. Diagnostyka stacji Slave i analiza błędów w Step7

Wywołanie bloku OB86 w przypadku usterki szyny montażowej, podsieci lub rozpoznania stacji rozproszonych urządzeń może być zidentyfikowane/wykryte z wykorzystaniem wbudowanych funkcji/bloków programowych jednostki Master. Poniżej zostanie opisana konfiguracja bloku OB86. Przykładowy układ bloków jednostki S7-300 został przedstawiony na rysunku 2.34.



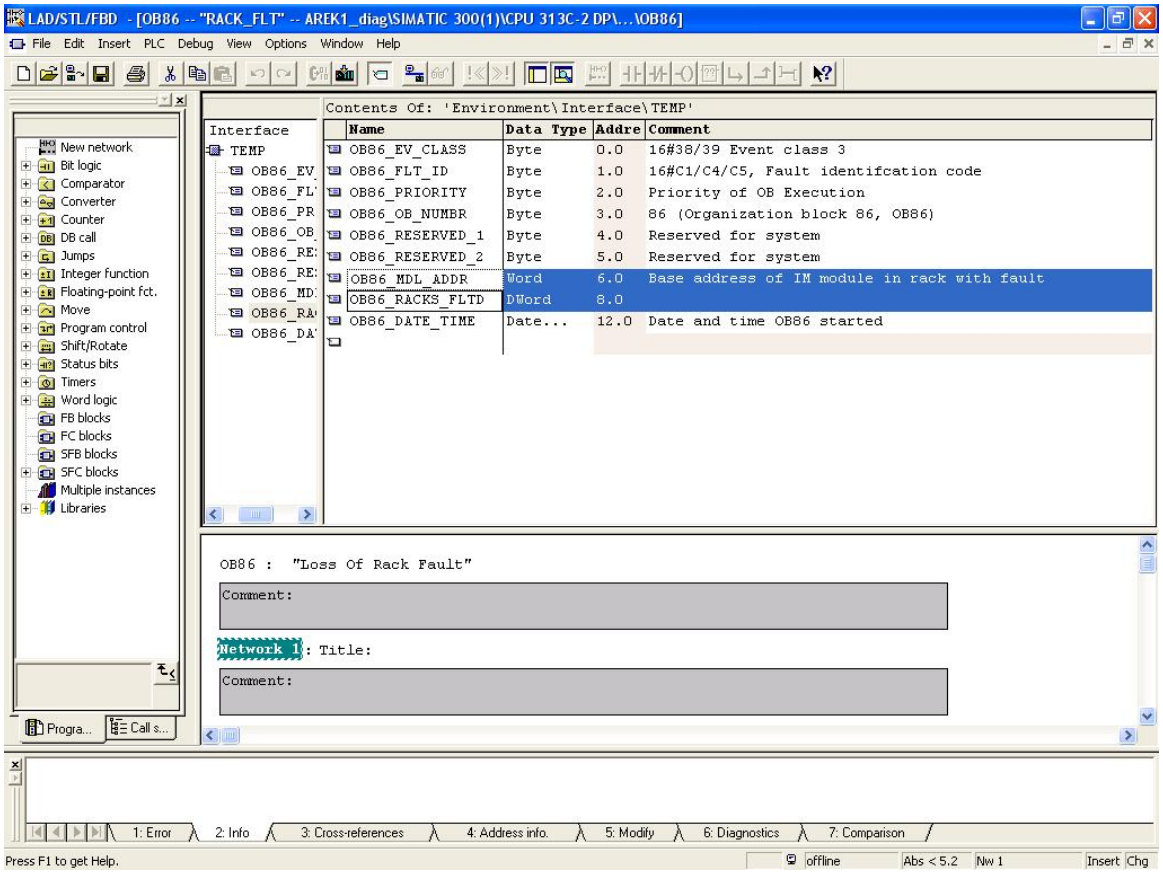
Rys. 2.34. Bloki programowe S7-300

Blok OB86 musi zostać zaprogramowany/zdefiniowany, w przeciwnym razie w wypadku błędu sieci DP jednostka CPU przechodzi w stan STOP. Weryfikacja rodzaju błędu opiera się na analizie dwóch zmiennych bloku OB86, są to:

- OB86_MDL_ADDR – adres podstawowy DP Master (adres diagnostyczny),
- OB86_RACKS_FLTD – adres DP Slave, której zdarzenie dotyczy:

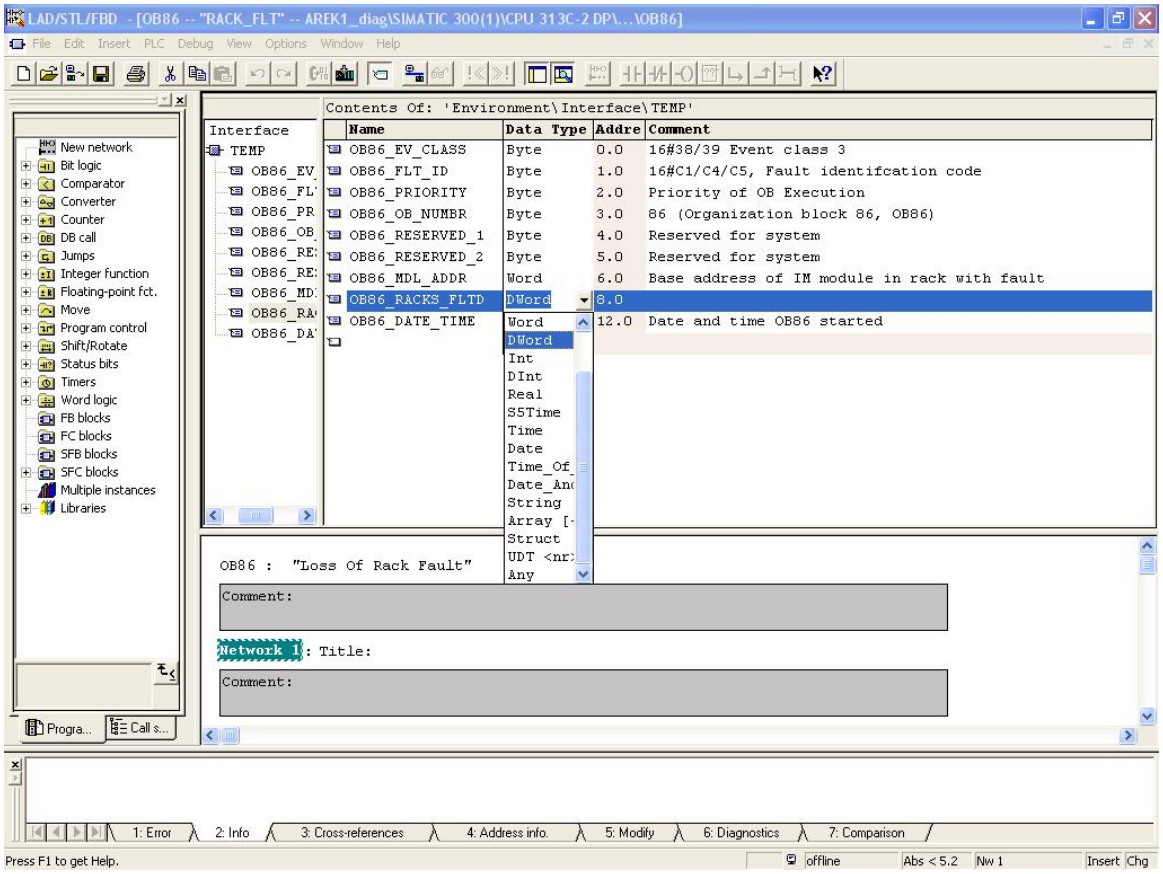
Bit 0 do 7:	numer stacji DP (adres PROFIBUS),
Bit 8 do 15:	numer identyfikacyjny sieci DP,
Bit 16 do 30:	adres DP (adres diagnostyczny),
Bit 31:	identyfikator I/O.

Podgląd zmiennych bloku OB86 został przedstawiony na rysunku 2.35.



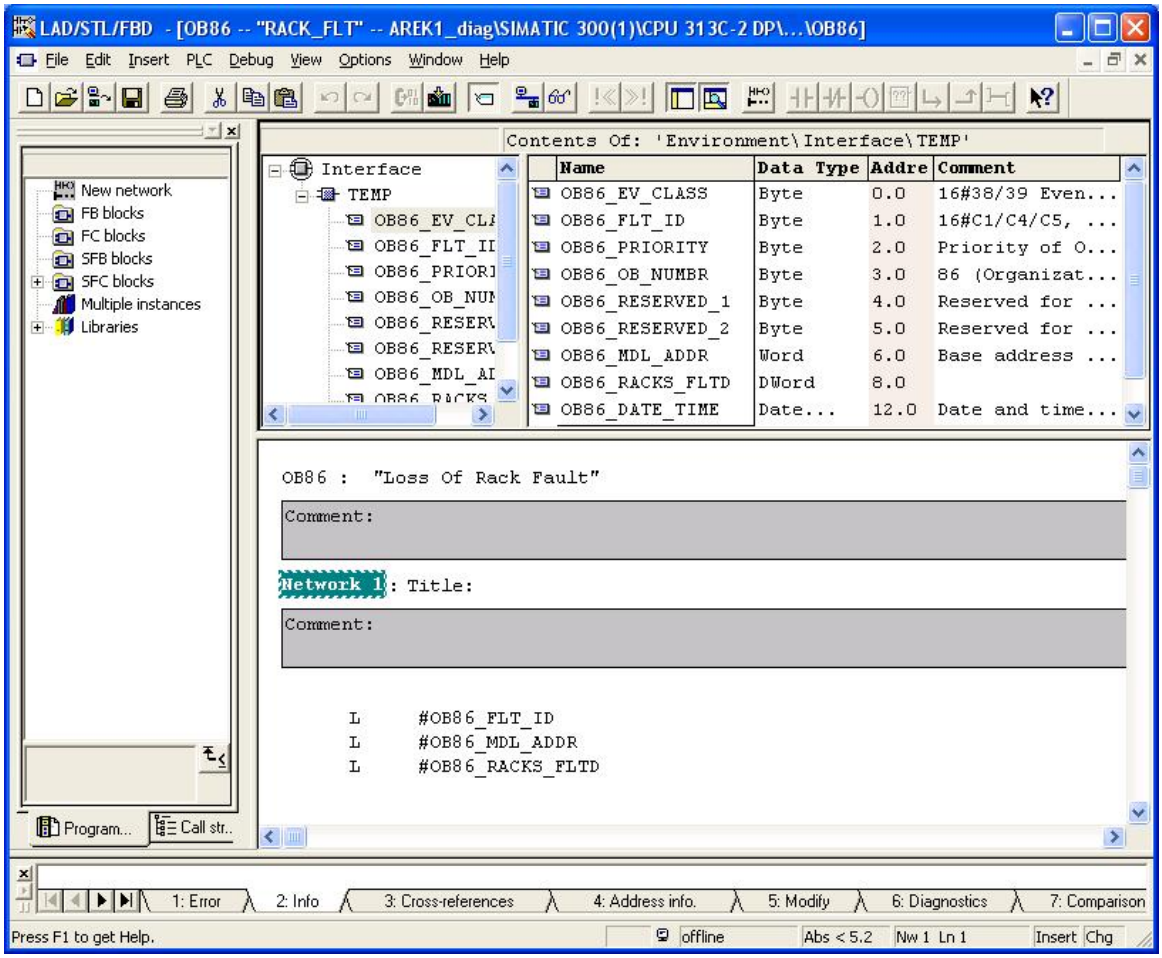
Rys. 2.35. Zmienne bloku OB86

W bloku OB86 należy zmienić typ danych. Dla zmiennej: OB86_RACKS_FLTD zmienić typ danych na DWORD (podwójne słowo – długość 4 bajty), tak aby było możliwe określenie kodu błędu (rysunek 2.36).



Rys. 2.36. Zmiana typu danych zmiennej OB86_RACKS_FLTD

Programowanie bloku OB86 w języku STL sprowadza się do załadowania zmiennych potrzebnych do diagnostyki. Wykorzystanie zmiennej OB86_FLT_ID pozwala na identyfikację kodu błędu. Programowanie bloku OB86 w S7-300 przedstawiono na rysunku 2.37.



Rys. 2.37. Programowanie bloku OB86

Poniżej zostanie opisana obsługa funkcji SFC13 (DPNRM_DG), która jest także wykorzystana do diagnostyki stacji Slave.

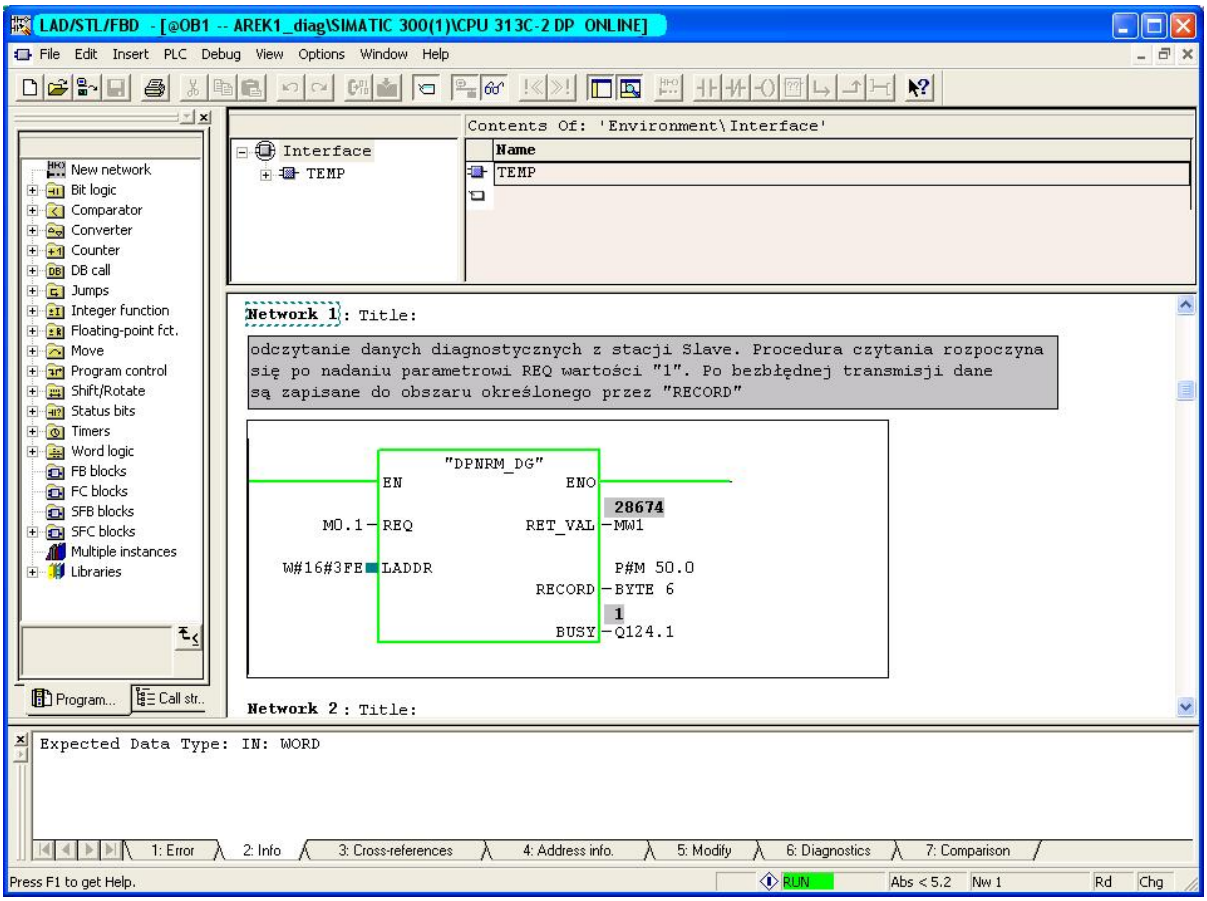
Każda stacja DP Slave udostępnia daną strukturę danych do diagnostyki zgodną z normą EN 50 170. Aby móc odczytać te dane należy użyć np. funkcji SFC 13 ”DPNRM_DG”. Dane odczytane ze stacji Slave zostają zapisane/wprowadzone do obszaru RECORD funkcji SFC 13. Aby rozpocząć pracę funkcji SFC13 należy podać stan logiczny 1 do wejściowego parametru REQ funkcji SFC 13. Proces czytania informacji odbywa się asynchronicznie dlatego najczęściej należy użyć kilka komórek funkcji SFC 13. Status pracy jest sygnalizowany poprzez parametr wyjściowy RET_VAL. Parametry funkcji SFC 13 zebrano i przedstawiono w tabeli 2.9.

Tabela 2.9. Parametry funkcji SFC 13 [29]

Parametr	Deklaracja	Rodzaj	Obszar pamięci	Opis
REQ	Wejście	BOOL	I,Q,M,D,L	REQ=1 Prośba odczytu
LADDR	Wejście	WORD	I,Q,M,D,L	Konfiguracja adresów diagnostycznych stacji Slave
RET_VAL	Wyjście	INT	I,Q,M,D,L	Gdy wystąpi błąd w momencie, gdy funkcja jest aktywna wynik będzie zawierał błąd. Jeśli błąd nie wystąpił parametr ten będzie zawierał długość transferowanych danych
RECORD	Wyjście	ANY	I,Q,M,D,L	Obszar przeznaczenia dla danych

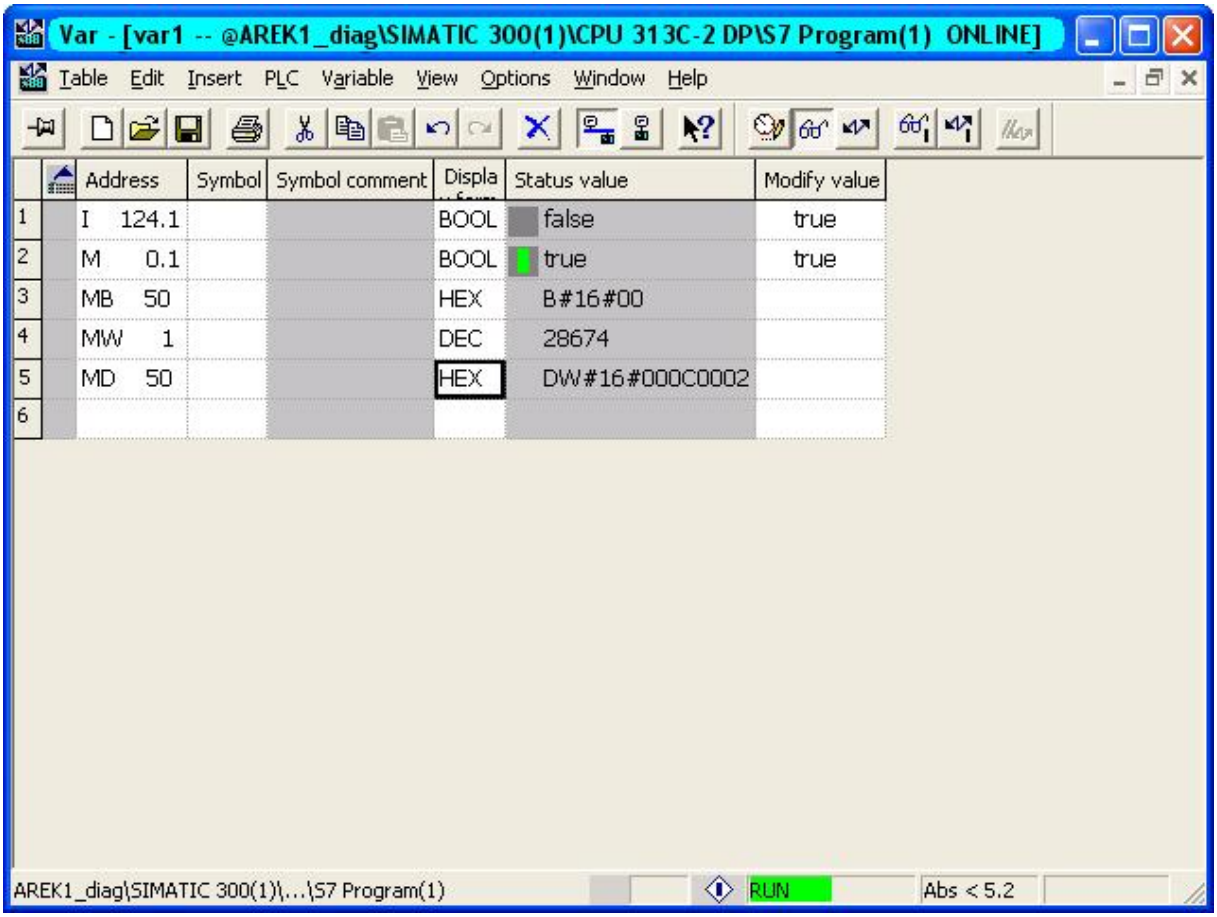
				diagnostycznych, które zostały odczytane
BUSY	Wyjście	BOOL	I,Q,M,D,L	BUSY=1 Proces czytania danych diagnostycznych nie zakończył się.

Wywołanie i podgląd wartości parametrów funkcji SFC13 w bloku OB1 sterownika S7-300 przedstawiono na rysunku 2.38.



Rys. 2.38. Programowanie funkcji SFC13

Wywołanie funkcji SFC13 (DPNRM_DG) w naszym przypadku następuje po zmianie wartości zmiennej M0.1 na logiczne ‘1’ w tablicy zmiennych (rysunek 2.39).



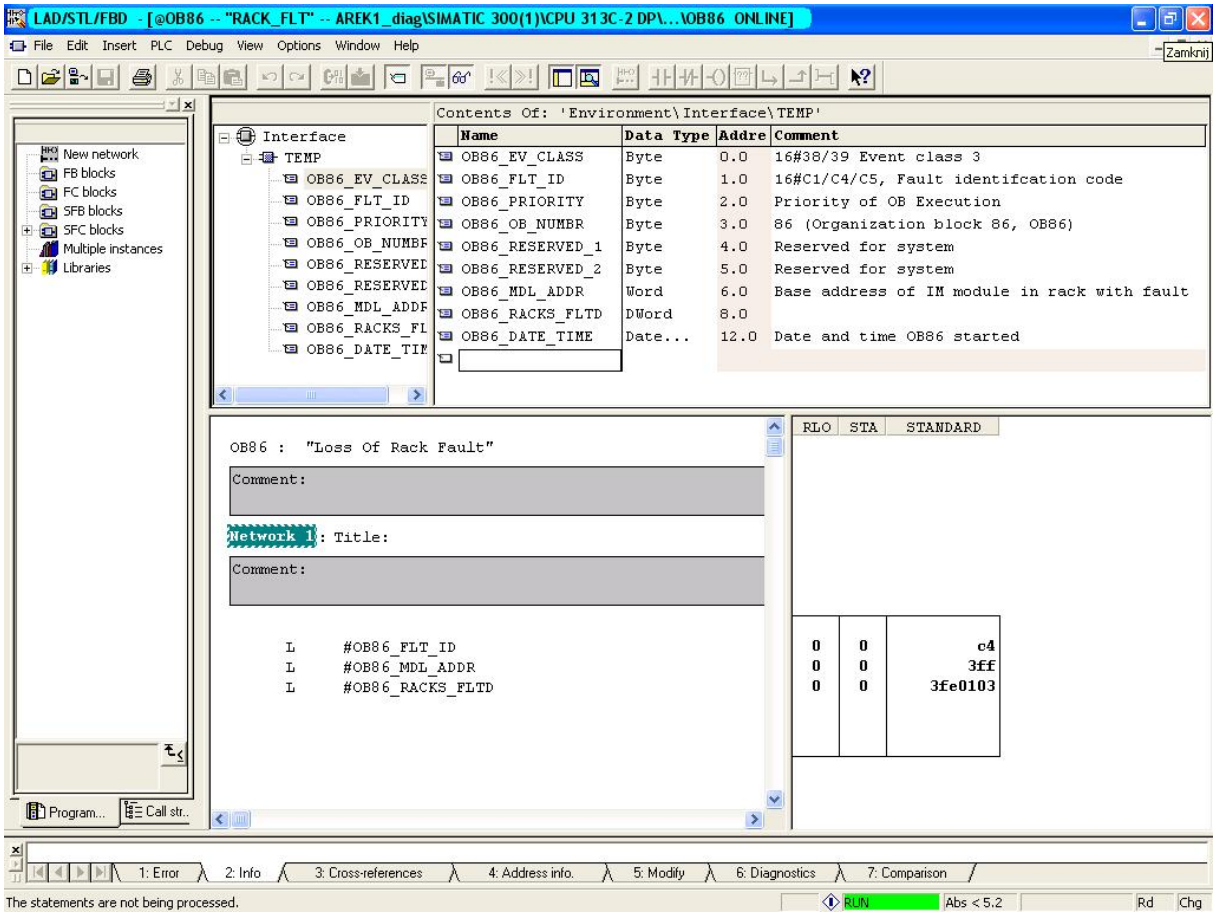
Rys. 2.39. Tablica podglądu zmiennych stacji Master (S7-300)

Następnie zostanie opisana symulacja uszkodzenia sieci PROFIBUS DP poprzez wyjęcie wtyczki komunikacyjnej z stacji Slave (S7-200).

Spowodowanie błędu komunikacji powoduje automatyczne wywołanie OB86 (rysunek 2.40), w którym zaprogramowane zmienne powinny przyjąć następujące wartości:
Rozszyfrowanie kodu błędu zmiennej OB86_RACK_FLTD

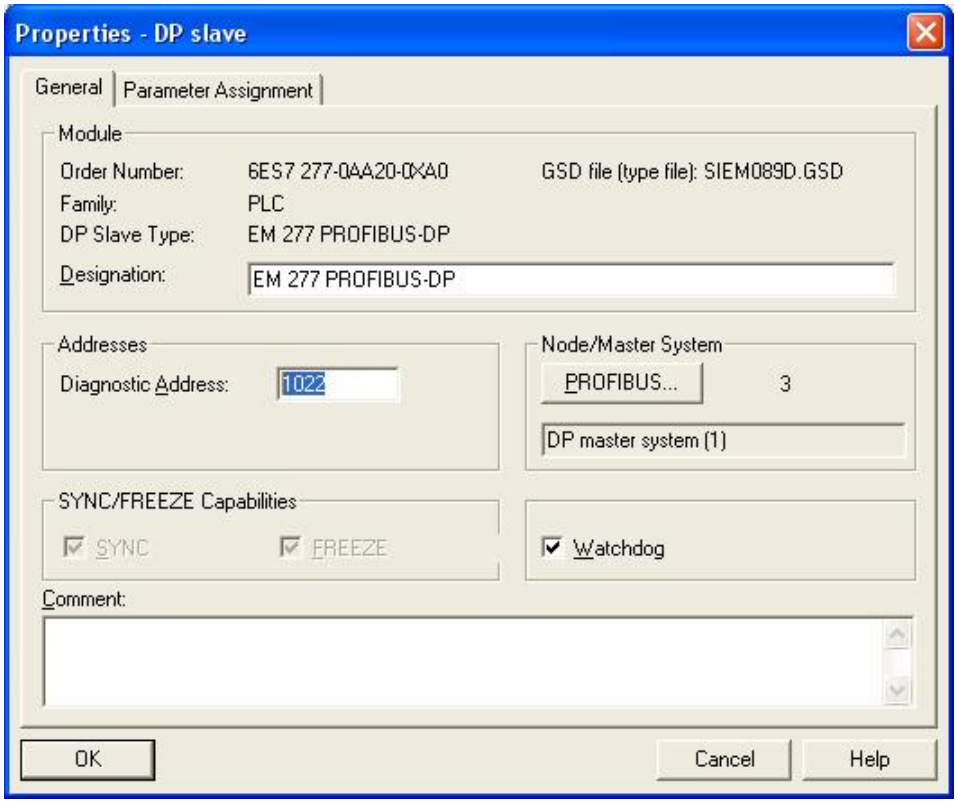
Hex	3fe0103		
Bin:	1111111110	00000001	00000011
Dec:	1022	1	3
Znaczenie:	adres diagnostyczny,	nr grupy,	adres sieciowy

Odczyt zmiennych bloku OB86 podczas wykrycia błędu jest możliwy podczas włączonego podglądu programu. Dodatkowo moduł CPU stacji Master sygnalizuje błąd komunikacji poprzez aktywną diodę SF DP – LED.



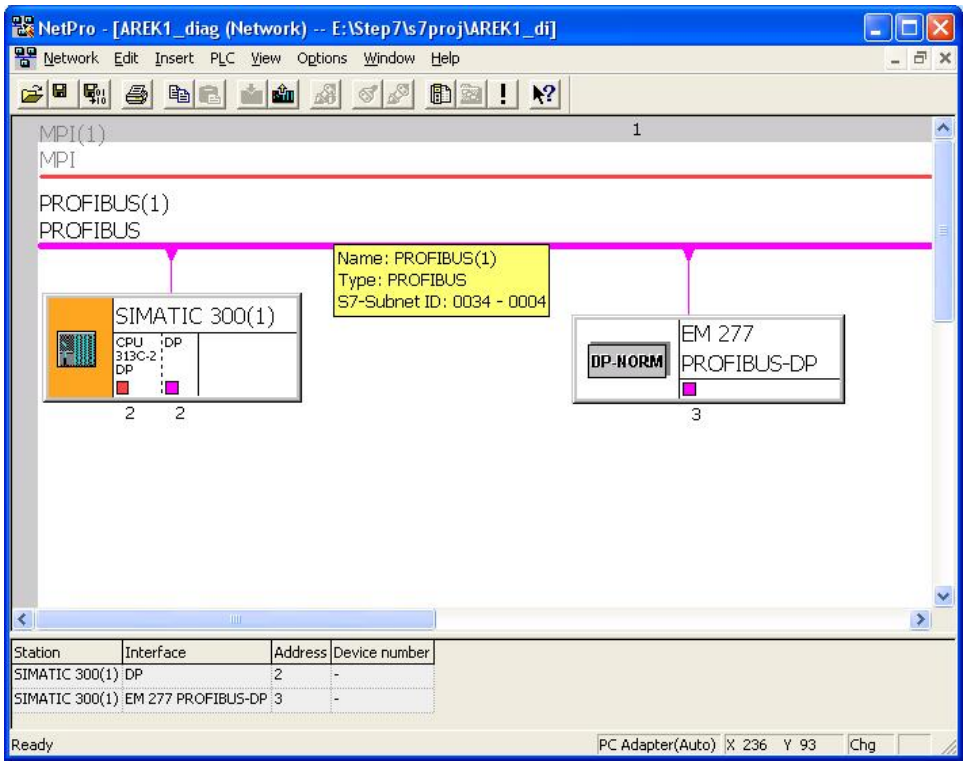
Rys. 2.40. Wywołanie zmiennych bloku OB86 podczas wykrycia błędu sieci DP

Weryfikacja danych kodu błędu. Sprowadza się do weryfikacji np. adresu diagnostycznego stacji Slave, z którą nastąpiła utrata połączenia komunikacyjnego. Sprawdzenie adresu diagnostycznego stacji Slave przedstawia okno na rysunku 2.41.

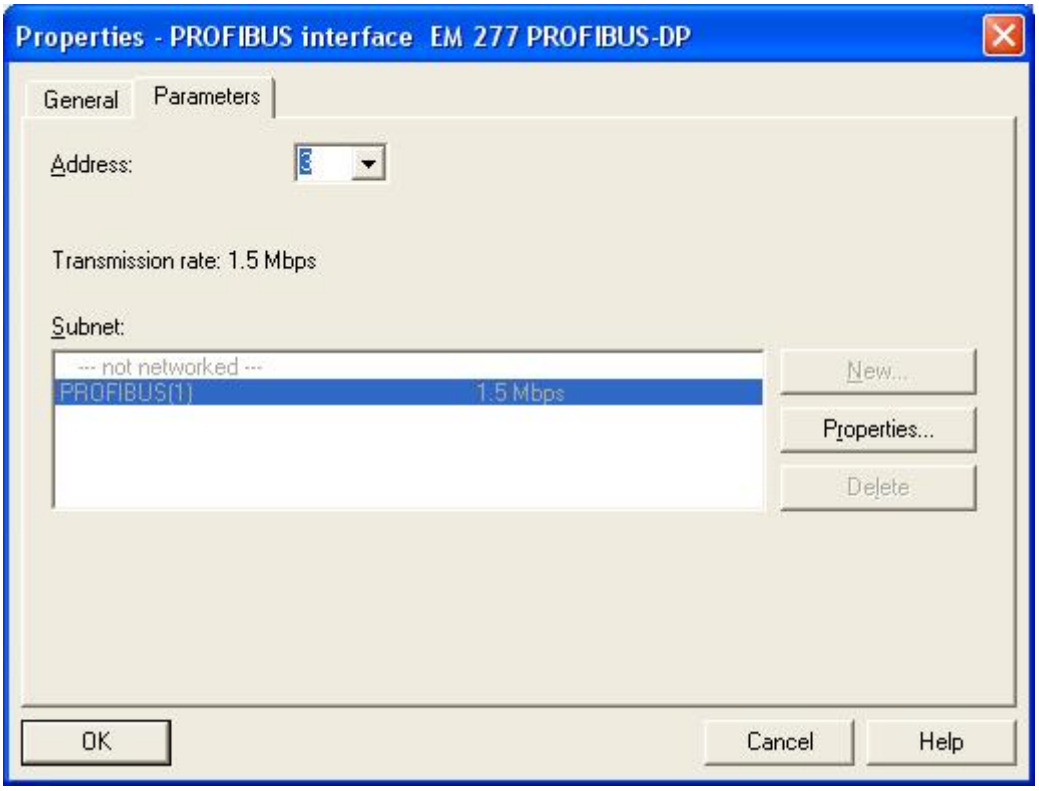


Rys. 2.41. Właściwości stacji DP Slave

Numer podsieci sieci DP (tzw. identyfikator, ID) oraz numer adresu stacji w sieci zostały przedstawione na rysunkach 2.42 i 2.43.



Rys. 2.42. Numer podsieci, okno NetPro



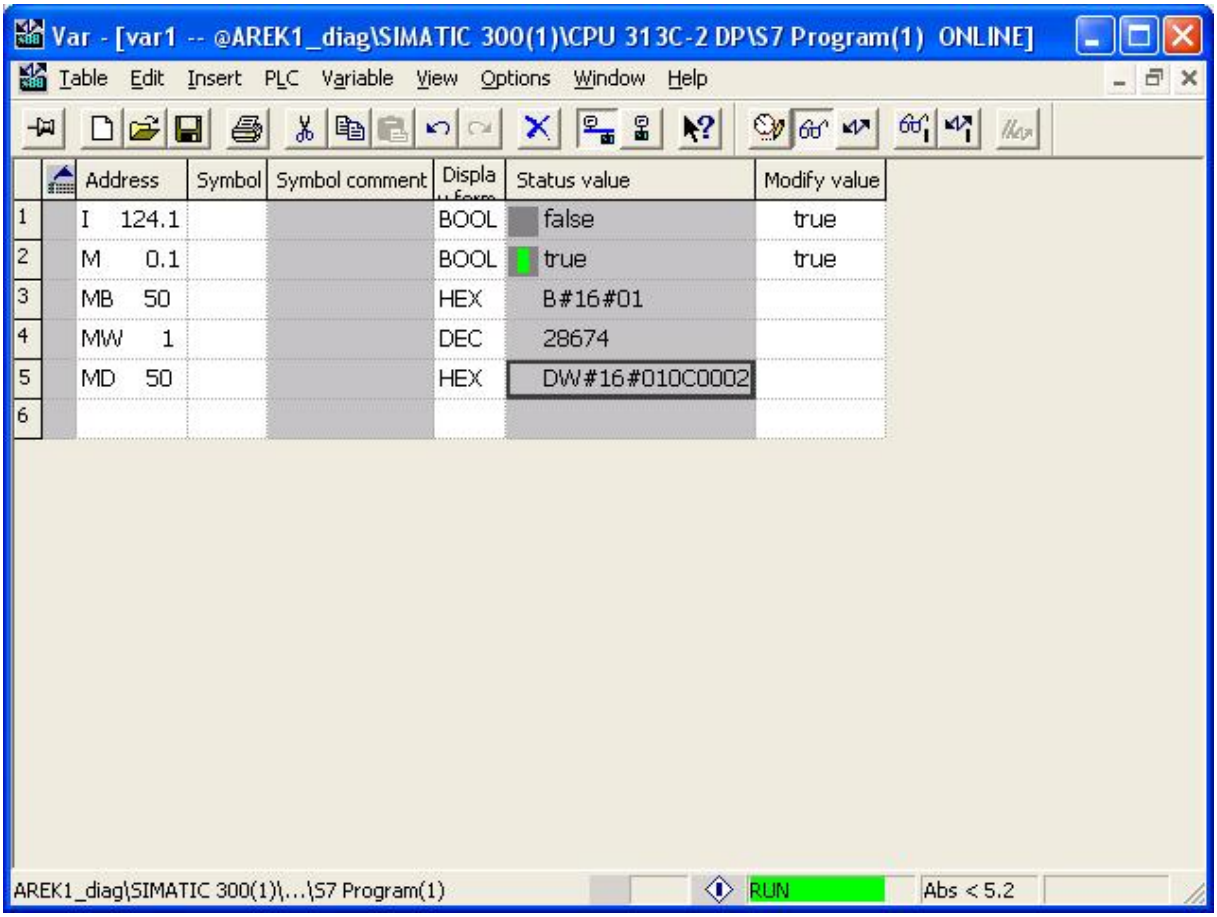
Rys. 2.43. Numer stacji DP Slave, okno Properties/EM277

Poniżej zostały opisane kody błędów SFC13 wywołane podczas symulacji uszkodzeń.

Przypadek 1. Komunikacja bez uszkodzeń.
RECORD = DW#16#000C0002

Przypadek 2. Uszkodzenie sieci DP
RECORD = DW#16#010C0002

Zmienną RECORD odczytujemy w tablicy zmiennych stacji Master (S7-300). Tablica zmiennych funkcji SFC13 została przedstawiona na rysunku 2.44.



Rys. 2.44. Tablica zmiennych funkcji SFC13

Przypadek 3. Błędny adres diagnozowanej stacji Slave
RECORD = DW#16#00000000

Niektóre kody błędów funkcji SFC13 (struktura danych diagnostycznych stacji Slave) i ich znaczenie zostały opisane w tabelach 2.10÷2.12.

Tabela 2.10. Struktura statusu stacji 1 (Bajt 0) [29]

Bit	Opis	Zalecenia
0	1: DP Slave nie może być adresatem stacji Master	• Sprawdź poprawność adresu DP Slave • Sprawdź czy wtyczka jest podłączona • Czy DP Slave jest podłączony do zasilania • Czy RS485 jest prawidłowo podłączony • Zresetuj urządzenie
1	1: DP Slave nie jest gotowy do wymiany danych	• Poczekaj DP Slave jest w trybie podłączania się
2	1: Wysłane dane konfiguracyjne z stacji Master nie odpowiadają danym aktualnie konfigurowanym w stacji DP Slave.	• Sprawdź czy program jest prawidłowo ustawiony na właściwą stacje DP Slave
3	1: Przerwanie diagnostyczne spowodowane wygenerowaniem sygnału RUN/STOP	• Można odczytać dane diagnostyczne

	0: Przerwanie diagnostyczne spowodowane wygenerowaniem sygnału STOP/RUN	
4	1: Funkcja nie jest zabezpieczona przed zmianą adresu na poziome software'owym	• Sprawdź dane konfiguracyjne
5	0: Ten bit zawsze jest równy 0	-
6	1: Typ DP Slave nie odpowiada zadeklarowanemu w programie	• Sprawdź czy stacja jest poprawnie zainstalowana
7	1: Dane ze stacji DP Slave zostały odczytane przez inną stację Master	• Bit ten zawsze jest „1" gdy dane stacji DP Slave są sprawdzane z innej stacji Master. Adres stacji Master, która podłączyła się do urządzenia można sprawdzić w „Master PROFIBUS address"

Tabela 2.11. Struktura statusu stacji 2 (Bajt 1) [29]

Bit	Opis
0	1: Stację DP Slave trzeba ponownie skonfigurować
1	1: Dane diagnostyczne zostały odebrane. DP Slave nie może kontynuować pracy aż błąd zostanie naprawiony
2	1: Ten bit zawsze przyjmuje wartość „1"
3	1: Tryb monitorowania został aktywowany dla stacji DP Slave
4	0: Ten bit jest zawsze równy 0
5	0: Ten bit jest zawsze równy 0
6	0: Ten bit jest zawsze równy 0
7	1: DP został usunięty z cyklu skanowania

Tabela 2.12. Struktura statusu stacji 3 (Bajt 2) [29]

Bit	Opis
0 do 6	0: Ten bit jest zawsze równy 0
7	1: DP Slave otrzymał więcej informacji niż może przetworzyć DP Master nie jest w stanie odczytać wszystkich informacji otrzymanych od stacji Slave

Wymagania dotyczące sprawozdania.

Sprawozdanie powinno zawierać:
- wykonanie zadania diagnostyki i analizy błędów komunikacji w sieci PROFIBUS DP poprzez symulowanie uszkodzeń sieci i ich urządzeń (wyłączenie zasilania stacji DP Slave),
- konfiguracja bloku OB86,
- opis użytych funkcji i zmiennych bloku OB86 i podgląd zmiennych,
- opis znaczenia kodów błędów bloku OB86,
- opis działania i parametrów funkcji SFC13,
- opis znaczenia kodów błędów funkcji SFC13,
- tablice deklaracji zmiennych i ich podgląd,
- programy sterujące stacji Slave/Master.

2.4. Komunikacja w sieci PROFIBUS DP z procesorem komunikacyjnym

2.4.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest konfiguracja sieci PROFIBUS DP oraz nawiązanie komunikacji pomiędzy procesorem komunikacyjnym typu CP 342 jako stacją Master a stacją DP Slave typu S7-200 z modułem EM 277. Pozwoli to na przesyłanie informacji między sterownikami, sterowanie stacją Slave i przeprowadzenie diagnostyki.

W celu realizacji ćwiczenia należy wykonać następujące zadania:

1. Konfiguracja i uruchomienie sieci.
2. Konfiguracja modułu komunikacyjnego CP 342
3. Konfiguracja sieci PROFIBUS DP.
4. Zapoznanie się i wykorzystanie funkcji do komunikacji DP_SEND i DP_RECV.
5. Realizacja zadania dwukierunkowej wymiany danych.

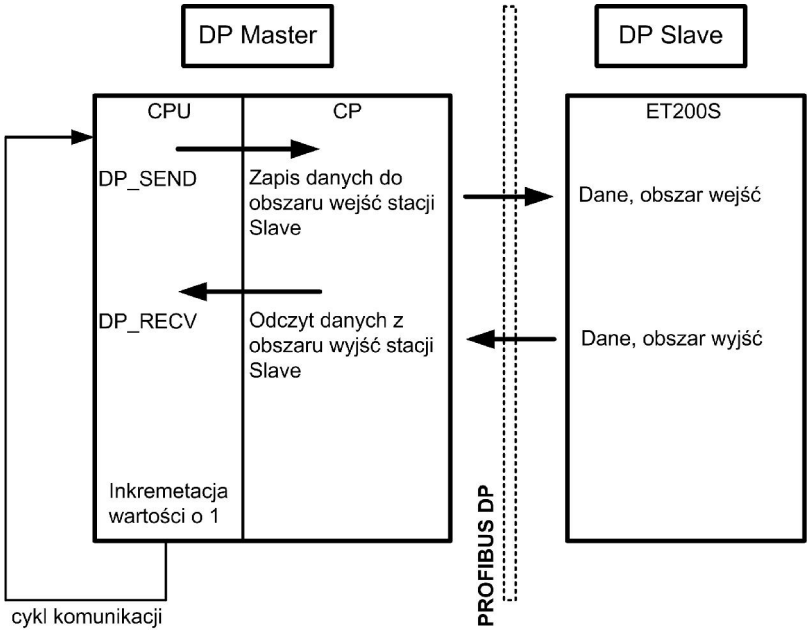
2.4.2. Wprowadzenie

Adresy sieci DP ze stacją Master CP 342 nie są takie same jak w sieci DP ze innymi stacjami Master typu CPU 3XX. Aby przesłać dane w sieci z procesorem komunikacyjnym CP 342 należy użyć funkcji DP_SEND i DP_RECV, które wykonywane przez CPU i wywoływane w OB1 nakazują procesorowi komunikacyjnemu wysyłanie i odbieranie danych między stacjami. Parametry pracy procesora komunikacyjnego CP 342-5 podano w tabeli 2.13.

Tabela 2.13. Parametry CP 342-5 [29]

Format	S7-300, moduł kompaktowy
Protokoły	DP (Master lub Slave) i FMS
Funkcje	SEND-RECIVE
Wydajność	9,6Kbit/s do 1,5 Mbit/s
Konfiguracja	NCM S7, używany w S7-300

Schemat wymiany danych z udziałem modułu komunikacyjnego CP przedstawiono na rysunku 2.45.



Rys. 2.45. Schemat komunikacji w sieci PROFIBUS DP [29]

2.4.3. Opis i programowanie funkcji FC1 i FC2

Funkcja FC1 (DP_SEND).

Zadaniem funkcji FC1 jest przesłanie 1-go bajtu danych do stacji DP Slave. Funkcja ta nakazuje modułowi komunikacyjnemu transmisję danych z określonego lokalnego obszaru wymiany danych stacji master do wejściowego obszaru wymiany danych stacji DP Slave. Obszarem lokalnym wymiany danych może być: blok danych, przestrzeń wirtualna, obszar wejść/wyjść lub pamięć zmiennych logicznych. Wywołanie funkcji FC1 następuje w bloku OB1.

Znaczenie parametrów funkcji FC1.

- CPLADDR: Startowy adres modułu komunikacyjnego CP w sieci PROFIBUS DP zapisany w postaci szesnastkowej.
- SEND: Adres lokalnego obszaru danych, z którego dane mają być przesyłane.
- DONE: Sygnalizacja bezbłędnej transmisji danych do stacji DP Slave.
- ERROR: Sygnalizacja wystąpienie błędów transmisji.
- STATUS: Informacja stanu procesu lub wystąpienia błędów.

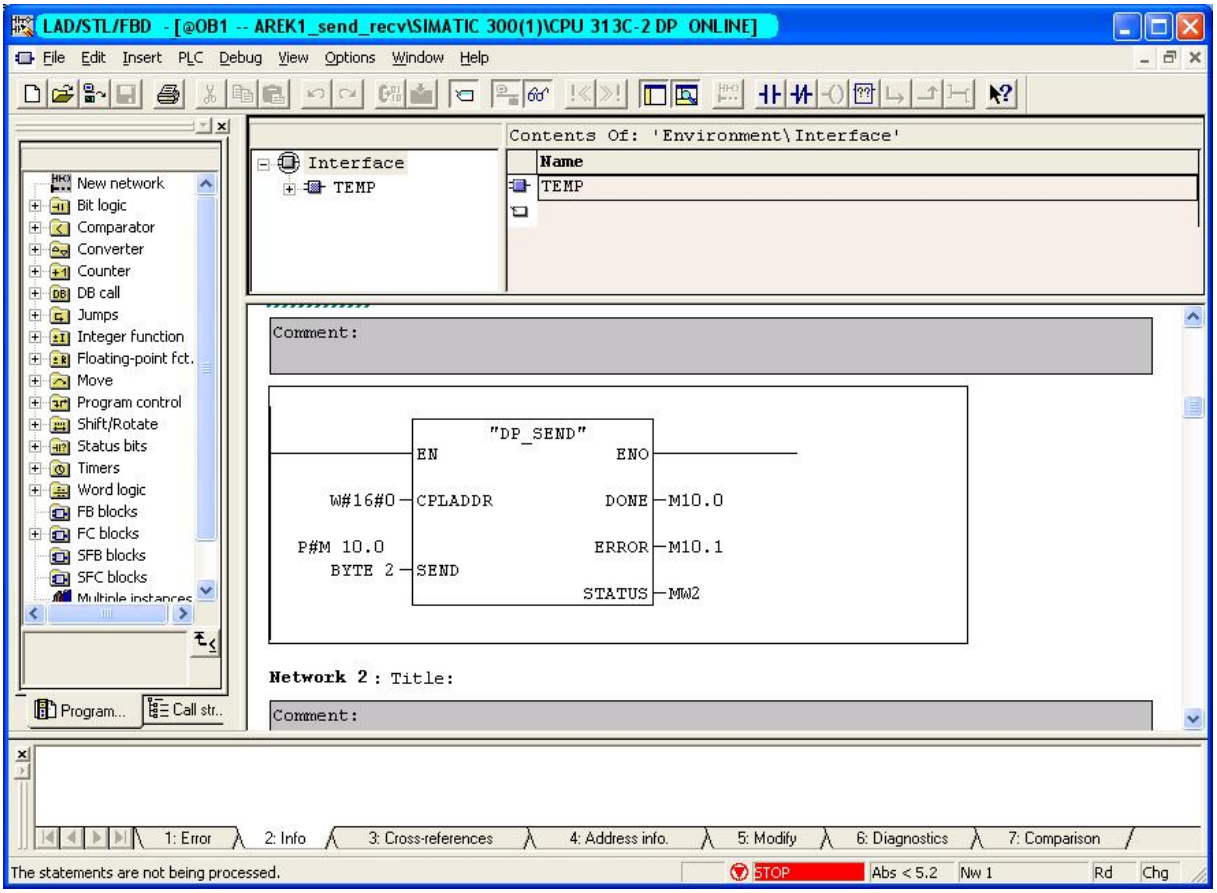
Funkcja FC2 (DP_RECV).

Zadaniem funkcji FC2 jest odczytanie 1-go bajtu danych ze stacji DP Slave. Funkcja ta nakazuje modułowi komunikacyjnemu przekazywanie danych z określonego lokalnego obszaru wejściowego do CPU. Odczytane dane są zapisywane w obszarze lokalnym wymiany danych, którym może być: blok danych, przestrzeń wirtualna, obszar wejść/wyjść lub pamięć zmiennych logicznych. Wywołanie funkcji FC2 następuje w bloku OB1.

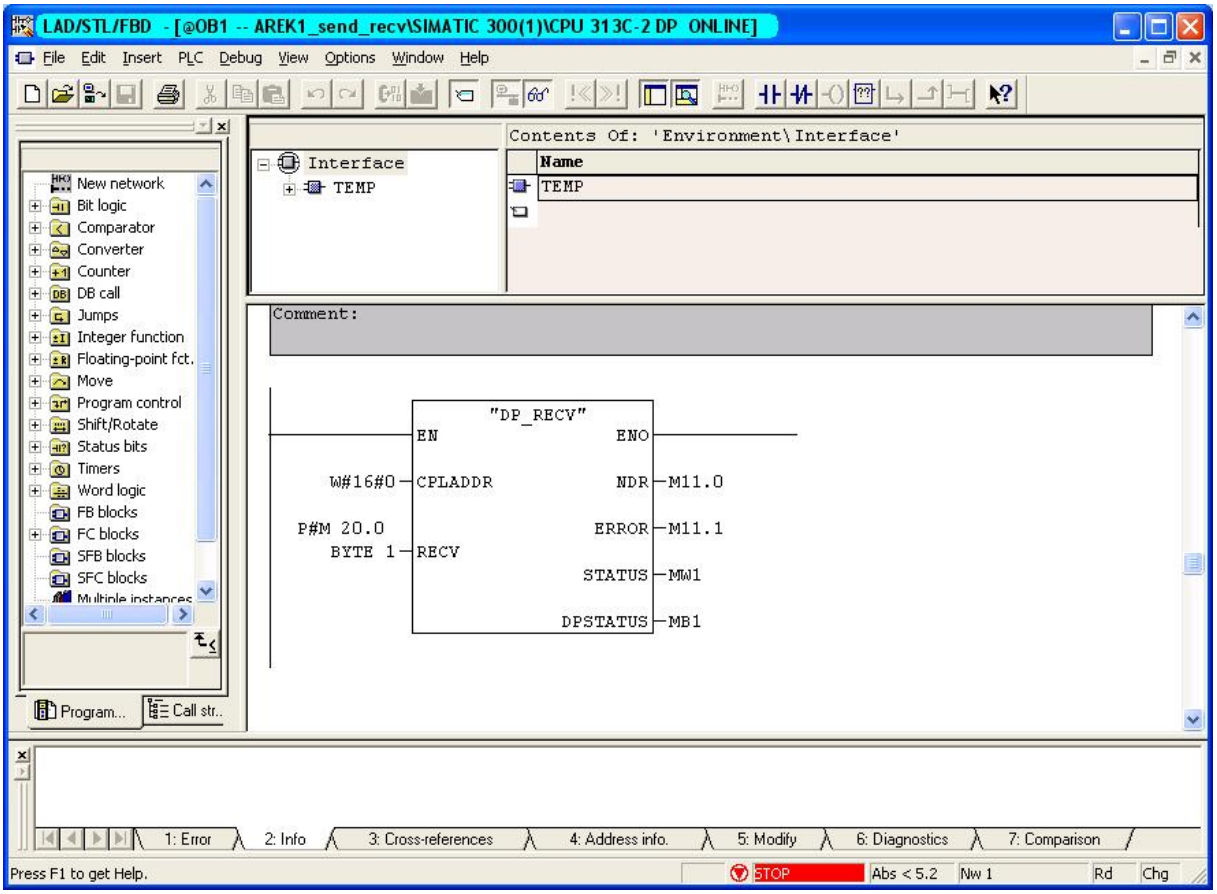
Znaczenie parametrów funkcji FC2.

- CPLADDR: Startowy adres modułu komunikacyjnego CP w sieci PROFIBUS DP zapisany w postaci szesnastkowej.
- SEND: Adres lokalnego obszaru danych, do którego dane mają być przesyłane.
- DONE: Sygnalizacja bezbłędnej transmisji danych do stacji DP Slave.
- ERROR: Sygnalizacja wystąpienie błędów transmisji.
- STATUS: Informacja stanu procesu lub wystąpienia błędów.

Wykorzystanie/programowanie funkcji FC1 i FC2 w bloku OB1 do ustawiania/zapisywania i odczytywania wyjść w sterowniku S7200 z modułem EM 277 przedstawiono na rysunkach 2.46 i 2.47.



Rys. 2.46. Zapis funkcji DP_SEND



Rys. 2.47. Zapis funkcji DP_RECV

Obie funkcje (FC1 i FC2) muszą być załadowane do pamięci stacji Master.

Wymagania dotyczące sprawozdania.

Sprawozdanie powinno zawierać:
- konfigurację sieci PROFIBUS DP,
- zapis funkcji FC1 i FC2 w języku STL,
- wykonanie zadania komunikacji pomiędzy stacją CP 342 a S7-200 z EM 277,
- podgląd tablicy zmiennych w stacji S7-300 i S7-200 z przykładowymi danymi,
- opis działania i parametrów użytych funkcji DP_SEND i DP_RECV,
- program sterujący stacji Master/Slave,
- opis użytych przestrzeni adresowych.

2.5. Aktywacja i dezaktywacja stacji DP Slave w sieci PROFIBUS DP

2.5.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z funkcjami służącymi do aktywowania lub dezaktywowania stacji DP Slave w sieci PROFIBUS DP.

W celu realizacji ćwiczenia należy wykonać zadania opisane kolejno:

1. Konfiguracja i uruchomienie sieci.
2. Wykorzystanie funkcji SFC12.
3. Aktywacja i dezaktywacja stacji DP Slave.
4. Odłączanie i przyłączanie stacji DP Slave do sieci.
5. Symulacje pracy stacji DP Slave i Master.

2.5.2. Wprowadzenie

Dzięki funkcji aktywacji lub dezaktywacji stacji DP Slave można włączyć bądź wyłączyć dowolną, wybraną stację DP Slave. Na przykład, w wypadku konieczności naprawy lub modernizacji szafy sterowniczej, stacje DP Slave możemy odłączyć od stacji Master bez powodowania błędu zgłaszanego przez CPU stacji Master. Dodatkowo podczas odpięcia stacji DP Slave wszystkie przypisane wyjścia są kasowane i ustawiane na wartość 0. Po ponownym podłączeniu stacji do sieci wszystkie wyjścia stacji DP Slave przybierają poprzednie wartości.

2.5.3. Opis funkcji SFC 12

Funkcja D_ACT_DP (SFC 12) pozwala na aktywacje i dezaktywacje wybranej stacji DP Slave. Celem funkcji SFC 12 jest włączenie lub wyłączenie stacji DP Slave z sieci PROFIBUS DP. W wypadku konfiguracji sieci z wieloma stacjami DP Slave stacja Master odpytuje poszczególne wszystkie stacje DP Slave według algorytmu przekazywania znacznika. Czas cyklu sieci DP jest tym dłuższy im więcej jest stacji DP Slave w segmencie sieci. Analizując zagadnienie optymalizacji długości czasu cyklu sieci okazuje się, że niektóre stacje DP Slave nie biorą udziału w procesie sterowania dla danego zadania. Takie stacje mogą być dezaktywowane (odłączane). Pozwala to na znaczne skrócenie czasu odświeżania danych w sieci (cyklu sieci).
Jeżeli stacja DP Slave zostanie dezaktywowana funkcją SFC 12 to stacja Master przestaje adresować zapytania do tej stacji. Dezaktywacja nie jest identyfikowana przez stacje Master jako błąd sieci. Dane przestrzeni wymiany danych w dezaktywowanej stacji DP Slave zostają ustawione na 0 (podobnie jak w wypadku błędu stacji DP Slave). Jeżeli program stacji Master odwołuje się do dezaktywowanej stacji DP Slave np. poprzez funkcje SFC 59, wtedy zmienna RET_VAL funkcji SFC 59 zawiera informację o niedostępnej stacji DP Slave. Dezaktywacja stacji DP Slave nie powoduje błędu programu (brak wywołania bloku OB85) i nie powoduje błędu szyny (brak wywołania bloku OB86).
Aktywacja stacji DP Slave funkcją SFC 12 jest możliwa jeżeli stacja DP Slave jest zdolna do wymiany danych. Aktywacja powoduje włączenie stacji do sieci bez powodowania błędu programu (brak wywołania bloku OB85) w stacji Master.
Parametry funkcji SFC 12 zostały zebrane i przedstawione w tabeli 2.14.

Tabela 2.14. Parametry funkcji SFC 12 [29]

Parametr	**Deklaracja**	**Typ danych**	**Obszar pamięci**	**Opis**
REQ	WEJŚCIE	LOGICZNY	I, Q, M, D, L, stała	Wartość REQ=1 wymusza aktywację, a REQ=0 dezaktywację funkcji.
MODE	WEJŚCIE	BAJT	I, Q, M, D, L, stała	Możliwe wartości: • 0: Żądanie informacji aktywności lub nieaktywności stacji DP Slave.

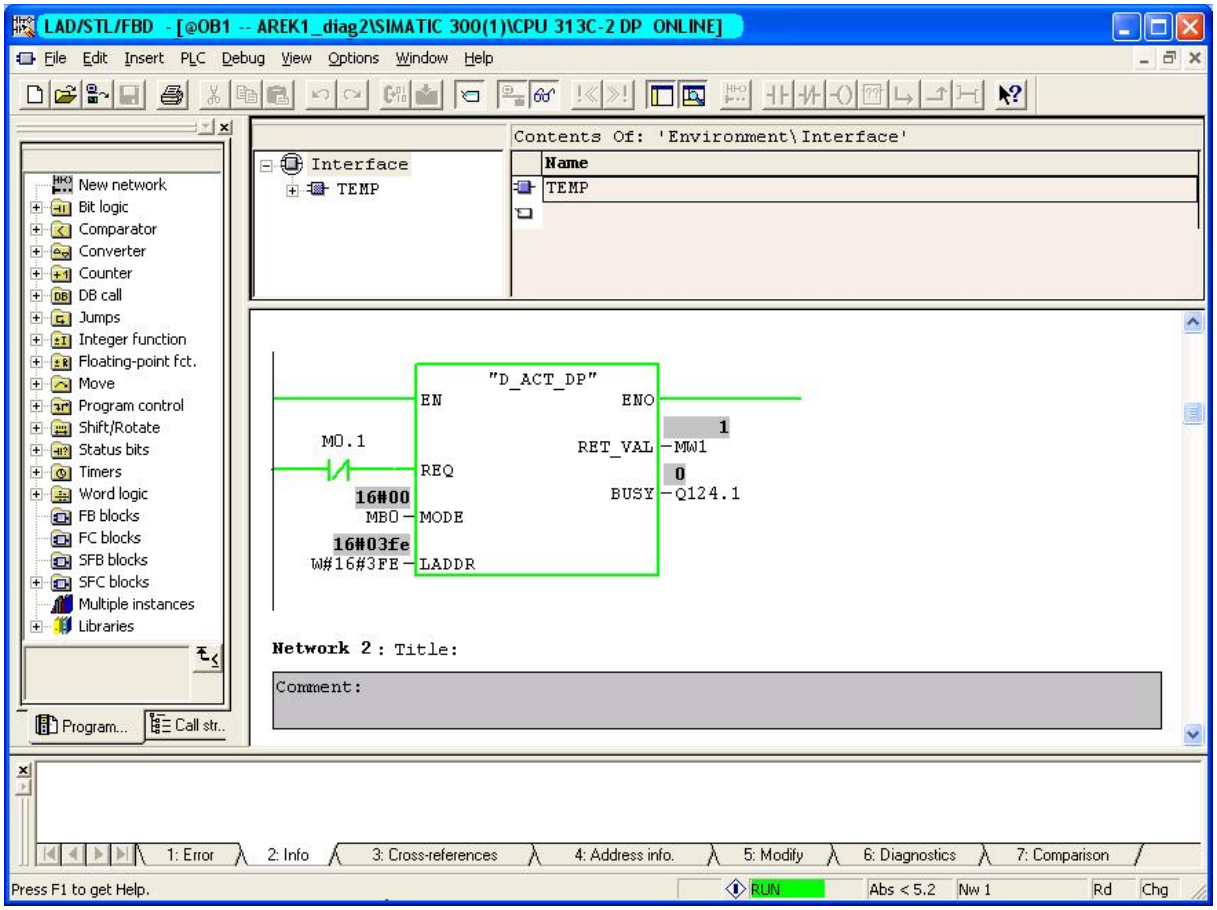
				• 1: Aktywacja stacji DP Slave. • 2: Dezaktywacja stacji DP Slave.
LADDR	WEJŚCIE	SŁOWO	I, Q, M, D, L, stała	Logiczny adres stacji DP Slave.
RET_VAL	WYJŚCIE	CAŁKOWITY	I, Q, M, D, L	W wypadku wystąpienia błędu podczas wykonywania funkcji parametr zwraca kod błędu.
BUSY	WYJŚCIE	LOGICZNY	I, Q, M, D, L	Aktywne kody: • BUSY=1: Praca funkcji ciągle aktywna. • BUSY=0: Praca funkcji zakończona.

Kody błędów funkcji SFC 12 przedstawiono w tabeli 2.15.

Tabela 2.15. Kody błędów funkcji SFC 12 [29]

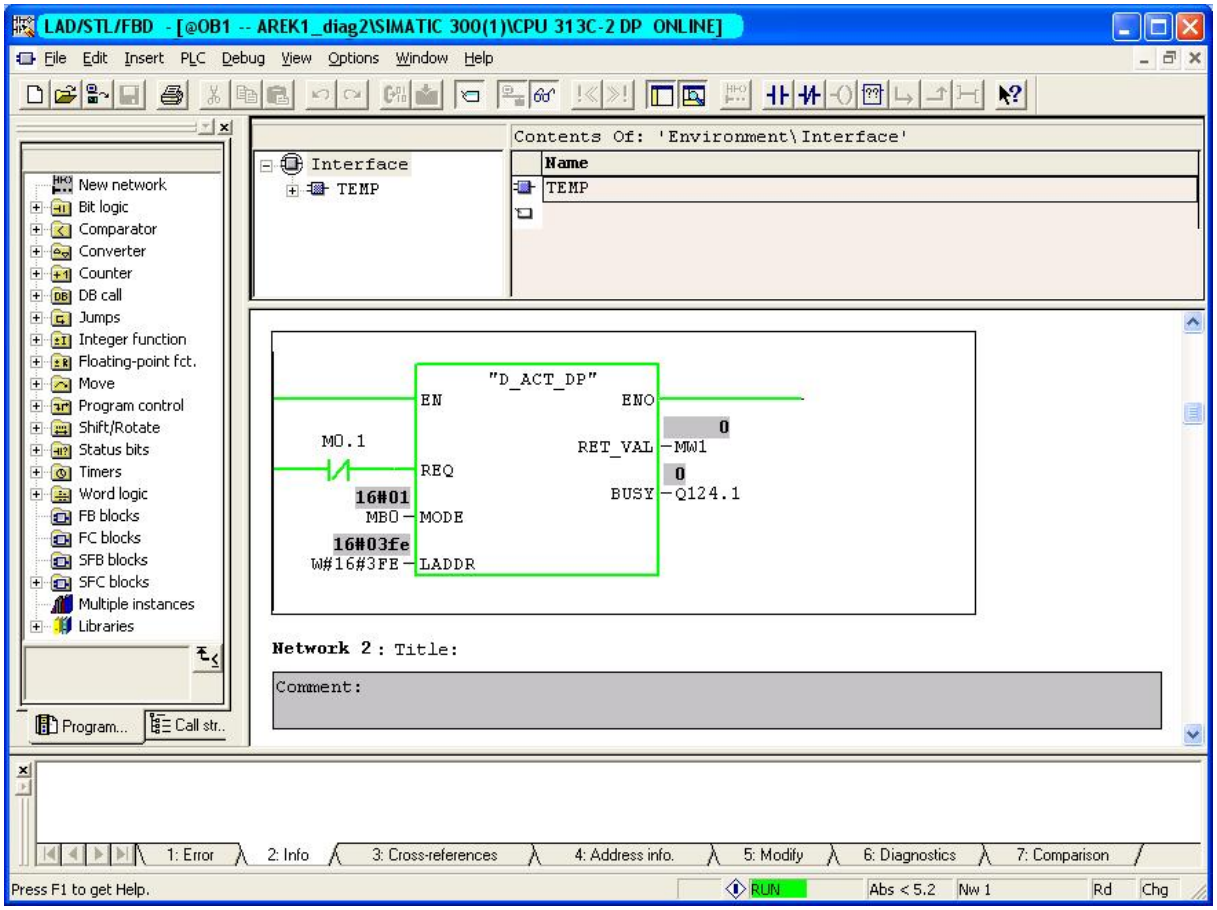
Kod błędu (W#16#...)	**Wyjaśnienie**
0000	Praca zakończona bez błędów.
0001	Stacja DP Slave jest aktywna (ten kod błędu możliwy jest tylko dla MODE=0).
0002	Stacja DP Slave jest nieaktywna (ten kod błędu możliwy jest tylko dla MODE=0).
7000	Stacja DP Slave jest nieaktywna, parametr BUSY=0.
7001	Stacja DP Slave została wywołana, parametr BUSY=1.
7002	Praca funkcji ze aktywną stacją DP Slave jest ciągle aktywna, parametr BUSY=1.
8090	• Moduł podany pod adresem w parametrze LADDR nie jest skonfigurowany. • Moduł CPU wykonujący funkcję określony jest jako stacja DP Slave i adres w parametrze LADDR oznacza tą stacje DP Slave.
8092	Dla zaadresowanych stacji DP Slave brak aktywnej funkcji wykonywanej aktualnie (ten kod błędu możliwy jest tylko dla MODE=-1).
8093	Brak przypisanych stacji DP Slave określonych w parametrze LADDR lub parametr MODE jest nieznany.
80A1	Zaadresowana stacja DP Slave nie może zostać sparametryzowana (ten kod błędu możliwy jest tylko dla MODE=1).
80A2	Zaadresowana stacja DP Slave nie zwraca potwierdzenia.
80A3	Stacja DP Master nie obsługuje tej funkcji.
80A4	Moduł CPU nie obsługuje tej funkcji dla zewnętrznych stacji DP Master.
80A6	Błąd slotu stacji DP Slave (ten kod błędu możliwy jest tylko dla MODE=1).
80C1	SFC 12 została uruchomiona i kontynuowana z innym logicznym adresem (ten kod błędu możliwy jest tylko dla MODE=1).
80C3	Tymczasowy błąd zasobów. Jednostka CPU przetwarza maksymalnie możliwą pracę aktywacji i dezaktywacji (ten kod błędu możliwy jest tylko dla MODE=1 i MODE=2).

Programowanie obsługi i podgląd działania funkcji SFC 12 w bloku OB1 przedstawiono na rysunku 2.48.



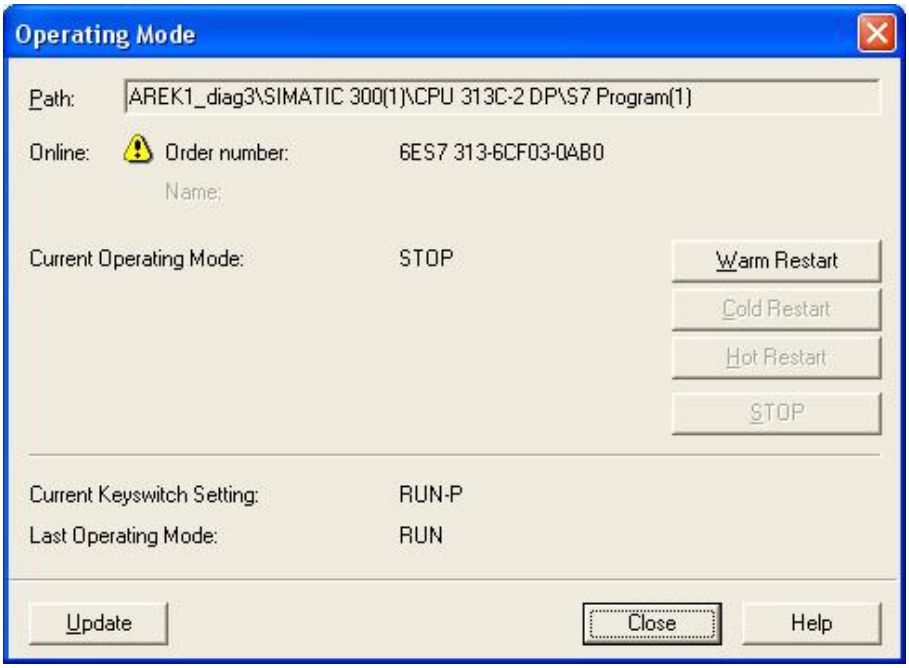
Rys. 2.48. Czytanie bieżącego statusu stacji DP Slave

Wykonanie aktywacji stacji DP Slave zostało przedstawione na rysunku 2.49.



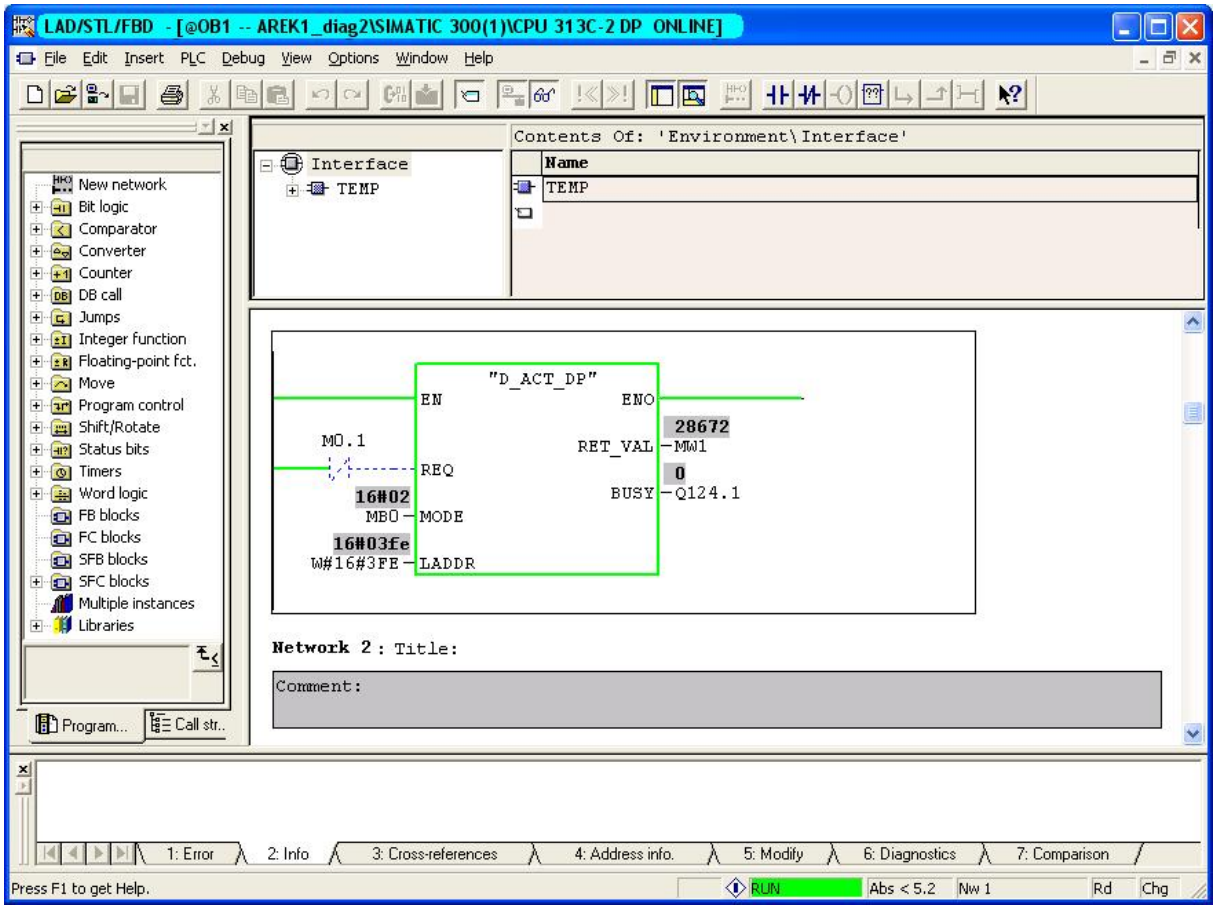
Rys. 2.49. Aktywacja stacji DP Slave

W celu programowego uruchomienia stacji (stacja DP Slave MODE=1) można wykorzystać funkcję *„ciepłego restartu”*, (rysunek 2.50).



Rys. 2.50. Tryby pracy stacji DP

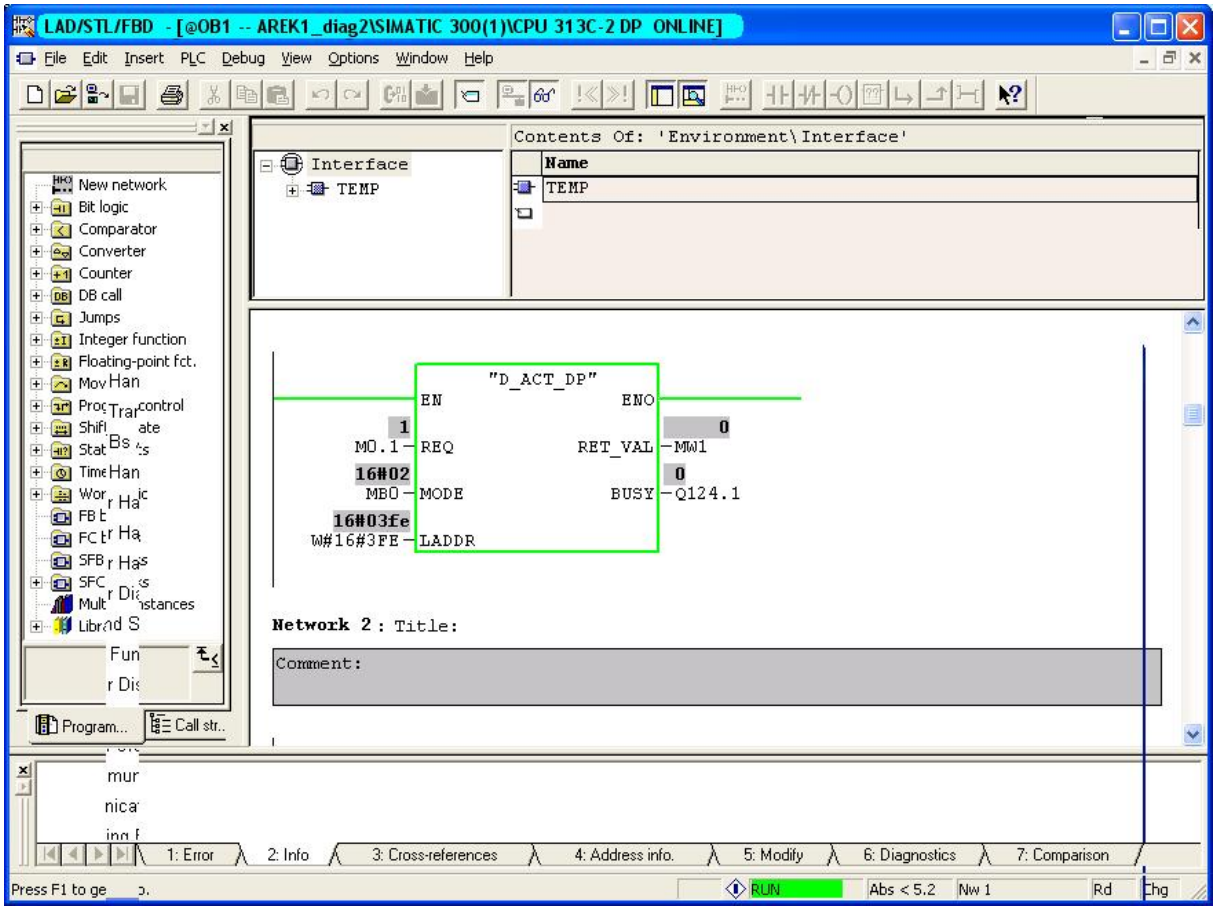
Proces odłączenia stacji DP Slave został przedstawiony na rysunku 2.51.



Rys. 2.51. Odłączenie stacji DP

Podczas odłączenia stacji wartość pamięci M0.1 automatycznie ustala się na ‘1’.

Dezaktywacja stacji DP Slave została przedstawiona na rysunku 2.52.



Rys. 2.52. Dezaktywacja stacji DP

Stacja DP Slave jest odłączona od sieci: włączona dioda DP ERROR w stacji DP Slave, stacja Master nie zgłasza błędu.

Wymagania dotyczące sprawozdania

Sprawozdanie powinno zawierać:
- konfiguracja sieci PROFIBUS DP,
- wykonanie zadania aktywacji i dezaktywacji stacji DP Slave w sieci PROFIBUS DP,
- opis procesu fizycznego odłączania i przyłączanie stacji DP Slave w sieci bez powodowania błędów w stacji Master,
- opis informacji zgłaszanych przez stacje DP Slave w postaci załączanych diod,
- oprogramowanie funkcji SFC 12 w języku STL,
- opis działania i parametrów funkcji SFC 12,
- opis trybów pracy funkcji SFC 12,
- opis funkcji *ciepłego restartu*,
- tablice deklaracji zmiennych,
- program sterujący stacji Master.

2.6. Synchronizacja i zamrażanie wejść/wyjść grupy stacji DP Slave

2.6.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z funkcjami służącymi do synchronizacji wyjść stacji DP Slave, zamrażanie wyjść oraz kasowania buforów wejść/wyjść stacji DP Slave. Zarządzanie grupami stacji DP Slave.

W celu realizacji ćwiczenia należy wykonać następujące zadania przedstawione kolejno:

1. Konfiguracja sieci PROFIBUS DP.
2. Wykorzystanie funkcji SFC11.
3. Synchronizacja, zamrażanie, kasowanie we/wy DP Slave.
4. Przypisanie stacji DP Slave do danej grupy.

2.6.2. Wprowadzenie

Oprócz wymiany danych w sieci DP mamy możliwość wysyłania poleceń sterujących do grupy urządzeń lub do wszystkich urządzeń podrzędnych równocześnie. Polecenia te przesyłane są jako *multicast*. Polecenia sterujące umożliwiają wykorzystanie trybów pracy *Sync* oraz *Freeze* do sterowanej zdarzeniowo synchronizacji urządzeń typu DP Slave. Urządzenia podrzędne uruchamiają tryb *Sync* w momencie odbioru od przyporządkowanego im urządzenia nadrzędnego polecenia *Sync*. We wszystkich zaadresowanych urządzeniach podrzędnych następuje wtedy zamrożenie bieżącego stanu wyjść. Podczas następnych transmisji danych użytkowych dane wyjściowe w urządzeniach podrzędnych zostaną zapisane, stany wyjść pozostaną jednak niezmienione. Dopiero po odbiorze następnego polecenia *Sync* zapisane dane wyjściowe zostaną przekazane na wyjścia. Polecenie *Unsync* kończy działanie trybu *Sync*.

Analogicznie, polecenie *Freeze* powoduje włączenie na wskazanych urządzeniach podrzędnych trybu *Freeze.* W trybie tym stany wejść wraz z ich bieżącymi wartościami zostaną zamrożone. Dane wejściowe zostaną zaktualizowane po wysłaniu przez urządzenie nadrzędne kolejnego polecenia *Freeze*. Polecenie *Unfreeze* kończy działanie tryb *Freeze*.

2.6.3. Opis funkcji SFC 11

Funkcja SFC 11 "DPSYC_FR" służy do synchronizacji jednej lub całej grupy stacji DP Slave. Funkcja wysyła jedną z następujących rozkazów do zaadresowanej grupy stacji DP Slave:

- SYNC (zamrożenie stanu wyjść stacji DP Slave),
- UNSYNC (wyłączenie rozkazu SYNC),
- FREEZE (zamrożenie stanu wejść stacji DP Slave),
- UNFREEZE (wyłączenie rozkazu FREEZE).

Efekt rozkazu SYNC.
Funkcja SYNC powoduje przełączenie jednej lub grupy stacji DP Slave w tryb *Sync*. Innymi słowy, stacja DP Master przekazuje komendę do aktualnego obszaru wyjściowego i tym samym nakazuje stacji DP Slave zamrożenie jej wyjść. Wyjścia stacji DP Slave są uaktualniane cyklicznie ponownie tylko wtedy, kiedy stacja Master wyśle procedurę UNSYNS używając funkcji SFC 11.

Efekt rozkazu FREEZE.
Skutkiem wykonania rozkazu FREEZE jest przejście stacji DP Slave w tryb pracy *Freeze*. Innymi słowy stacja Master nakazuje stacji DP Slave zamrożenie stanu jej wejść, a następnie przesłanie zamrożonych wartości wejść do obszaru wejściowego wymiany danych CPU stacji Master. Stacja DP Master otrzymuje cyklicznie aktualizowane stany wejść stacji DP Slave tylko po przesłaniu komendy UNFREEZE do stacji DP Slave poprzez funkcję SFC 11.

Parametry funkcji SFC 11 zostały przedstawione w tabeli 2.16.

Tabela 2.16. Parametry funkcji SFC 11 [29]

Parametr	**Deklaracja**	**Typ danych**	**Obszar pamięci**	**Opis**
REQ	WEJŚCIE	LOGICZNY	I, Q, M, D, L, stała	Poziom wyzwalania funkcji sterowanie parametrem REQ=1 wymusza SYNC lub FREEZE.
LADDR	WEJŚCIE	SŁOWO	I, Q, M, D, L, stała	Logiczny adres stacji DP Master.
GROUP	WEJŚCIE	BAJT	I, Q, M, D, L	Wybór grupy: Bit 0=1: wybrana grupa 1 Bit 1=1: wybrana grupa 2 . . Bit 7=1: wybrana grupa 8 Wartość #16#0 jest niedozwolona.
MODE	WEJŚCIE	BAJT	I, Q, M, D, L, stała	Możliwe wartości: Bit 0: zarezerwowany Bit 1: zarezerwowany Bit 2 =1 wykonywanie UNFREEZE =0 bez znaczenia Bit 3 =1 wykonywanie FREEZE =0 bez znaczenia Bit 4 =1 wykonywanie UNSYNC =0 bez znaczenia Bit 5 =1 wykonywanie SYNC =0 bez znaczenia Bit 6: zarezerwowany Bit 7: zarezerwowany Możliwe wartości dla jednej stacji DP Slave: -B#16#04 UNFREEZE -B#16#08 FREEZE -B#16#10 UNSYNC -B#16#20 SYNC Możliwe wartości dla grupy stacji DP Slave: -B#16#14 UNSYNC, UNFREEZE -B#16#18 UNSYNC, FREEZE -B#16#24 SYNC, UNFREEZE -B#16#28 SYNC, FREEZE
RET_VAL	WYJŚCIE	CAŁKOWITY	I, Q, M, D, L	W wypadku wystąpienia błędu podczas

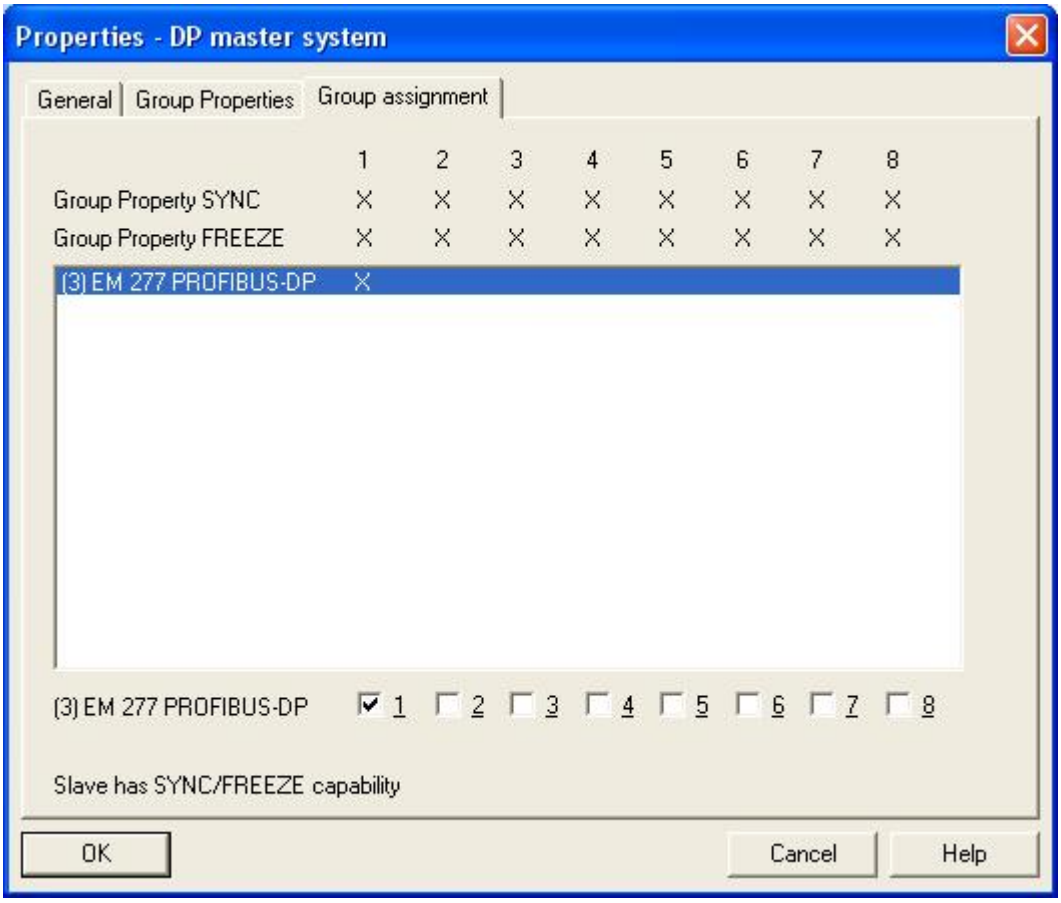
				wykonywania funkcji parametr zwraca kod błędu.
BUSY	WYJŚCIE	LOGICZNY	I, Q, M, D, L	BUSY=1: Praca funkcji SYNC/FREEZE nie zakończona.

Kody błędów funkcji SFC 11 zostały zebrane i przedstawione w tabeli 2.17.

Tabela 2.17. Kody błędów funkcji SFC 11 [29]

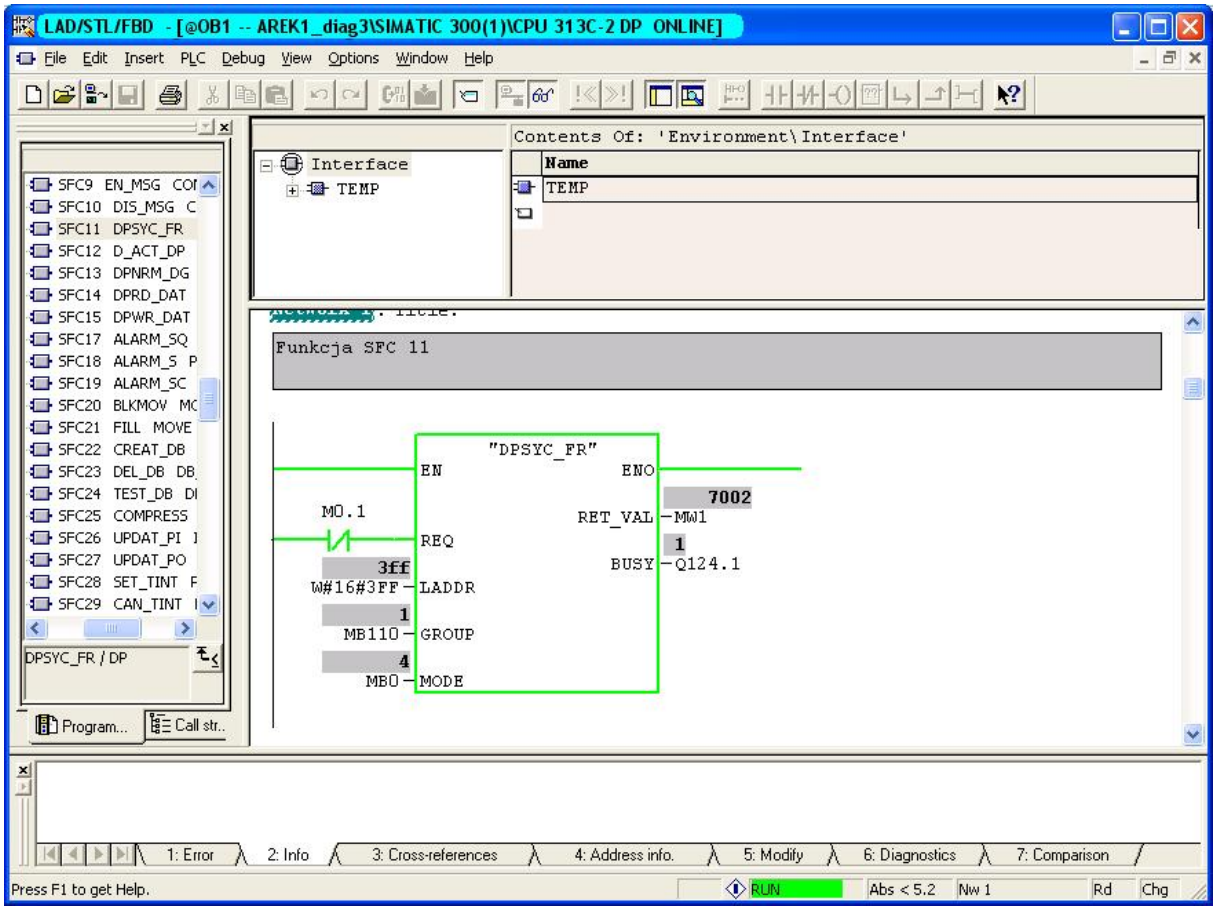
Kod błędu (W#16#...)	**Wyjaśnienie**
0000	Praca zakończona bez błędów.
7000	Stacja DP Slave, Grupa i parametr MODE są nieaktywna, parametr BUSY=0.
7001	Stacja DP Slave Grupa i parametr MODE zostały wywołana, parametr BUSY=1.
7002	Praca funkcji SYNC/FREEZE ze aktywną stacją DP Slave jest ciągle aktywna, parametr BUSY=1.
8090	Moduł podany pod adresem w parametrze LADDR nie jest stacją Master.
8093	Funkcja SFC nie jest dozwolona dla stacji z adresem w parametrze LADDR.
8094	Niepoprawny parametr GROUP
8095	Niepoprawny parametr MODE
80B0	Grupa zdefiniowana w parametrze GROUP jest nie skonfigurowana.
80B1	Grupa zdefiniowana w parametrze GROUP jest nie przydzielona do CPU.
80B2	Funkcja SYNC sprecyzowana w parametrze MODE nie jest dozwolona dla grupy stacji określonych w parametrze GROUP.
80B3	Funkcja FREEZE sprecyzowana w parametrze MODE nie jest dozwolona dla grupy stacji określonych w parametrze GROUP.
80C2	Tymczasowy brak zasobów stacji DP Master. Jednostka CPU przetwarza maksymalnie możliwą pracę SYNC/FREEZE.
80C3	Funkcja SYN/UNSYNC nie może być aktywowana w tym czasie. Błąd programu.
80C4	Funkcja FREEZE/UNFREEZE nie może być aktywowana w tym czasie. Błąd programu.
80C5	Wejścia/wyjścia nie są dostępne. Błąd podsieci DP.
80C6	Praca przerwana. Brak połączenia ze modułem wejść/wyjść przez CPU.
80C7	Praca przerwana. Ciepły lub zimny restart stacji DP Master.

Ustalenie identyfikatora grupy stacji DP Slave w programie ‘HW Config’ przedstawiono na rysunku 2.53. Stacja Slave EM 277 została przypisana do grupy 1.



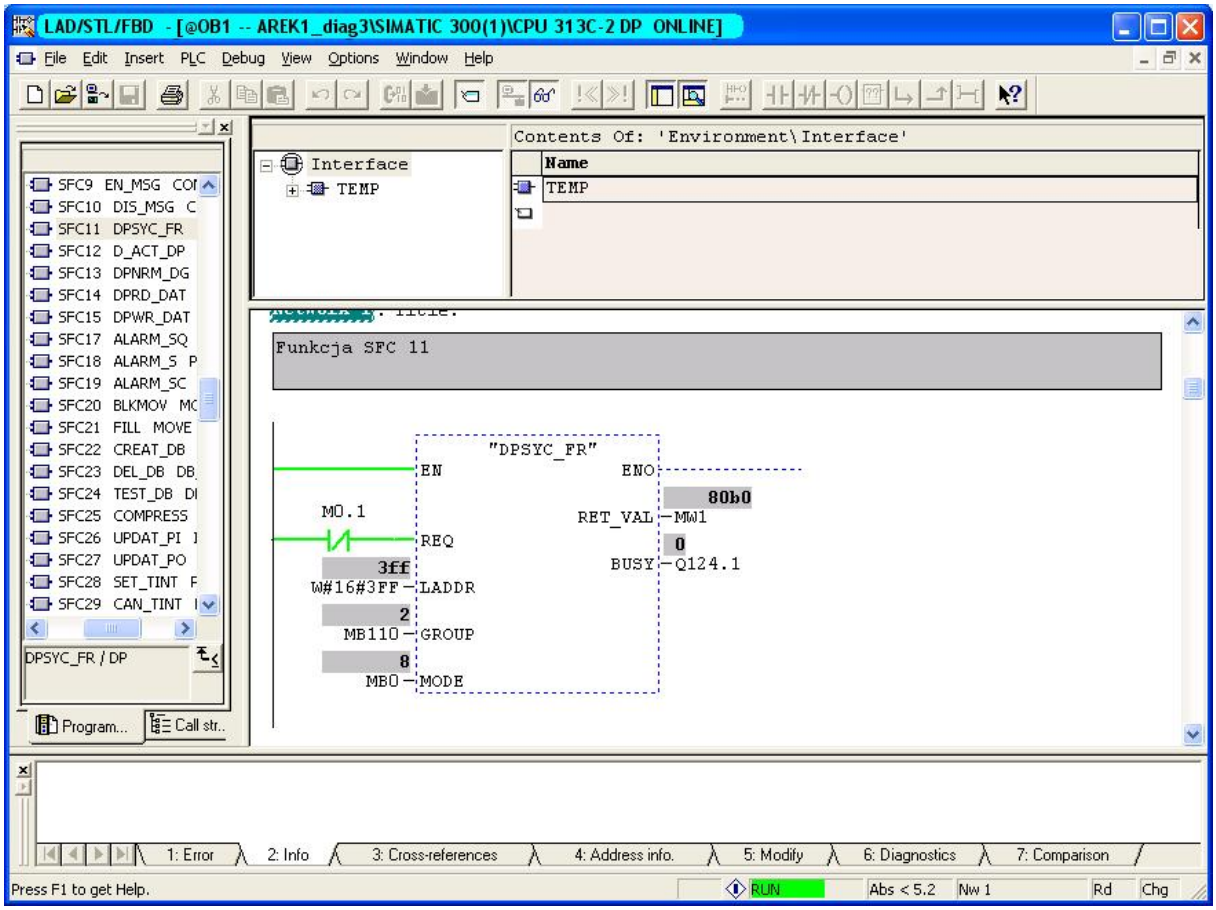
Rys. 2.53. Adres grupy stacji, właściwości sieci DP

Oprogramowanie funkcji SFC 11 i weryfikacja poprawnej nazwy grupy stacji DP została przedstawiona na rysunku 2.54.



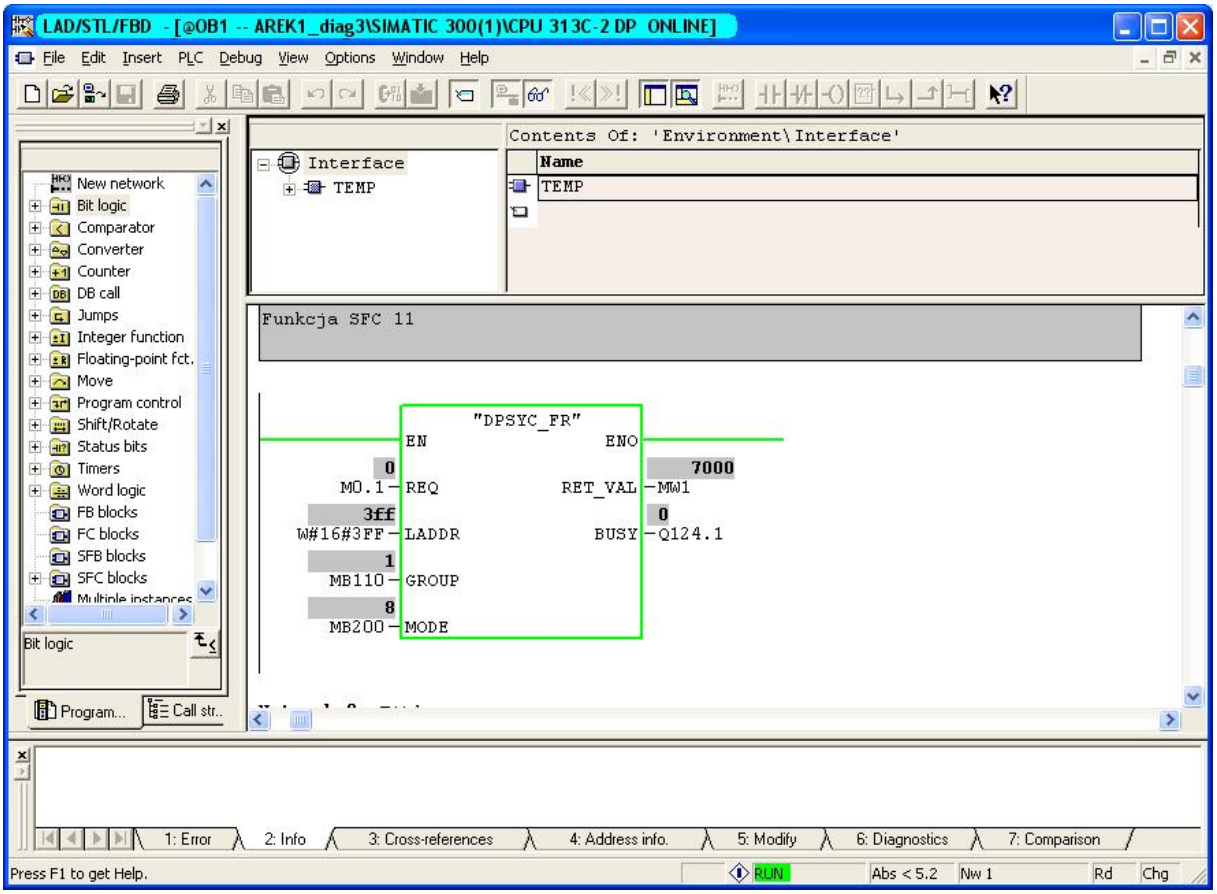
Rys. 2.54. Parametry funkcji SFC 11 wywołanej w bloku OB1

Symulacja błędnego, zadanego numeru grupy stacji DP Slave za pomocą funkcji SFC 11 została przedstawiona na rysunku 2.55. W przypadku podania błędnego identyfikatora grupy stacji DP funkcja SFC 11 zwraca kod błędu 80B0.



Rys. 2.55. Parametry funkcji SFC 11 podczas błędnego numeru grupy stacji DP

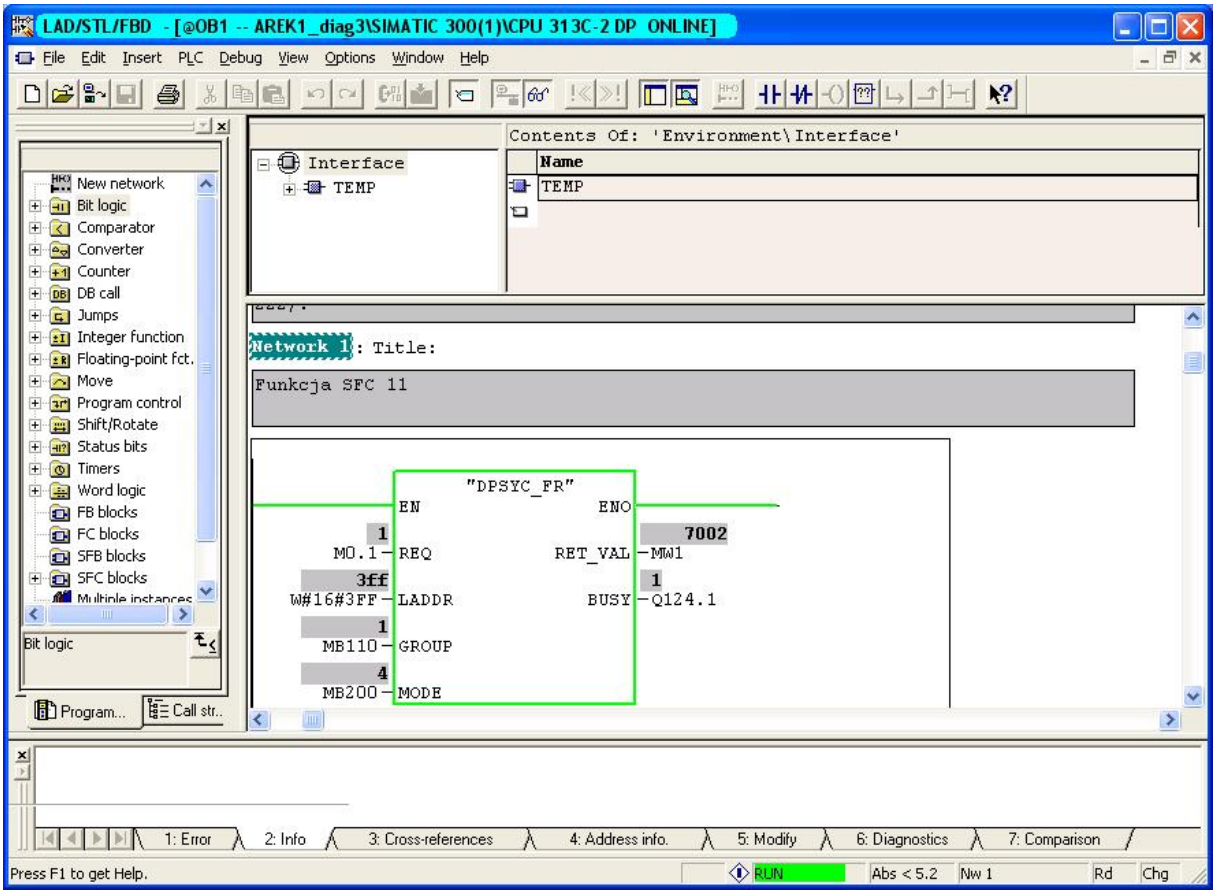
Realizację „zamrożenia” danych z stacji DP Slave (tryb *Freeze*) przedstawiono na rysunku 2.56.



Rys. 2.56. Parametry funkcji SFC 11 podczas trybu *Freeze*

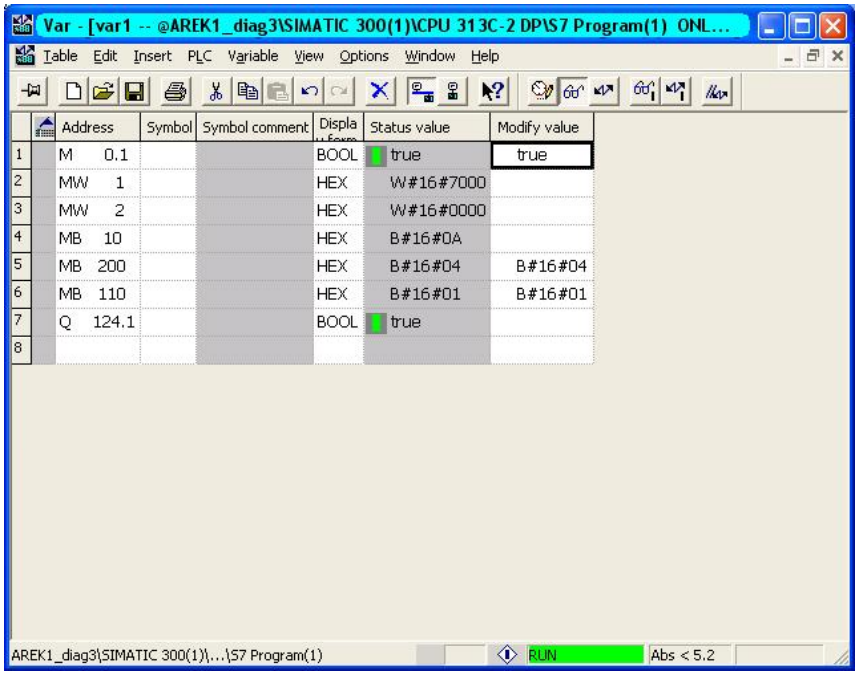
Należy zwrócić uwagę, że przesyłana przez DP Slave wartość zmiennej M0.1 jest 1 mimo to, układ DP Master nadal utrzymuje wartość 0.

“Odmrożenie” wartości danych (tryb *Unfreeze*) zostało przedstawione na rysunku 2.57.



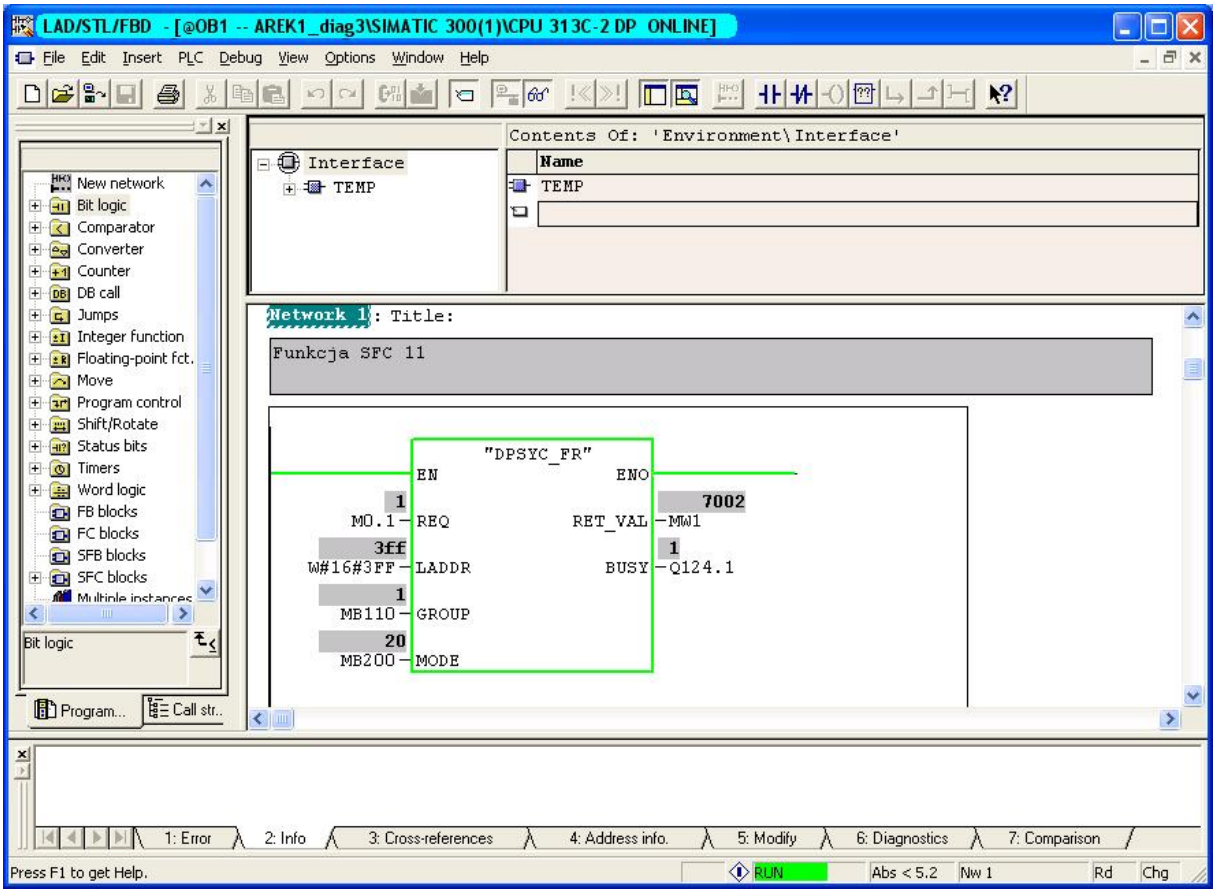
Rys. 2.57. Parametry funkcji SFC 11 podczas trybu *Unfreeze*

Po przeforsowaniu wartości zmiennej M0.1 na 1 i ustawieniu MODE=4 układ nadal przekazuje dane z stacji DP Slave, patrz tablica na rysunku 2.58.



Rys. 2.58. Tablica podglądu zmiennych, S7-300

Wykonanie synchronizacji wyjść (tryb *Sync*) zostało zrealizowane i przedstawione na rysunku 2.59.



Rys. 2.59. Parametry funkcji SFC 11 podczas trybu *Sync*

Wymagania dotyczące sprawozdania

Sprawozdanie powinno zawierać:
- konfigurację sieci PROFIBUS DP,
- specyfikację urządzeń/stacji w sieci DP,
- wykonanie zadania synchronizacji i zamrażania stacji DP Slave w sieci PROFIBUS DP,
- opis przypisania stacji do grupy i zarządzanie grupami stacji,
- opis poprawności adresów grupy,
- opis działania i parametrów funkcji SFC 11 w języku STL,
- opis trybów pracy funkcji SFC 11,
- tablice deklaracji zmiennych,
- program sterujący stacji Master (w STL).

3. Komunikacja w sieci PROFINET IO

Wstęp

Standard PROFINET IO jest definiowany jako system do komunikacji przemysłowej rozproszonych wejść/wyjść wykorzystujący zalety sieci PROFIBUS DP (ang. *Decentralized Peripherial*) i standard sieci Industrial Ethernet. Należy tutaj wyróżnić podstawowe cechy systemu PROFINET IO [4, 6, 7, 17, 19, 24, 25]:

- opiera się na sprawdzonym standardzie PROFIBUS DP z jednoczesnym wykorzystaniem nowoczesnych technologii Ethernetu,
- wykorzystuje protokół TCP/IP i standardy IT (ang. *information technology*),
- jest to otwarty system komunikacyjny wykorzystywany w układach sterowania w systemach automatyki przemysłowej,
- pozwala na integrację istniejących rozwiązań sieciowych w przemyśle dzięki modułom komunikacyjnym typu *proxy*,
- obsługuje następujące tryby komunikacji:
    - cykliczna i acykliczna,
    - niezdeterminowana i zdeterminowana (krytyczna czasowo),
    - multicast i broadcast,
    - czasu rzeczywistego, czasu rzeczywistego z synchronizacją,
    - synchroniczna.
- urządzenia pracują w trybie pełnego dupleksu (ang. *full-duplex*) z prędkością 100Mb/s,
- model urządzenia jest wzorowany na modelu węzła sieci PROFIBUS DP, tzn. zawiera slot i kanał, parametry urządzenia opisane są przez plik GSD bazujący na technologii XML (ang. *Extensible Markup Language*),
- konfiguracja sieci PROFINET IO jest także podobna do konfiguracji sieci PROFIBUS DP, gdzie poszczególne urządzenia polowe są przypisywane do danego sterownika PLC już na etapie projektowania samej konfiguracji,
- pliki opisu urządzeń w języku XML można generować za pomoca gotowych generatorów komponentów dostarczanych przez producenta sprzętu lub za pomocą dedykowanych programów np. PROFInet Component.

W tym rozdziale zostanie scharakteryzowany standard PROFINET IO na potrzeby realizacji projektowania sieci, programowania dwukierunkowej wymiany danych, a także uruchamiania, serwisowania i diagnostyki sieci przemysłowej. Opisano tutaj protokół TCP/IP, model warstw OSI, media transmisji danych dla sieci Ethernet, jak również ramki danych. Następnie opisano profile komunikacyjne sieci PROFINET IO, wykorzystywane protokoły oraz rodzaje i zadania komunikacji. Kolejno zwrócono uwagę na sprzęt, urządzenia, właściwości fizyczne sieci oraz media stanowiącą warstwę fizyczną. W dalszej części zdefiniowano różne rodzaje topologii sieci wykorzystywane przez PROFINET IO. Przedstawiono sposoby redundancji sieci PROFIENT IO. Zdefiniowano modele urządzeń sieci PROFINET IO oraz podano najważniejsze elementy opisu urządzeń GSDML. Kolejno zwrócono szczególną uwagę na tryby komunikacji sieciowej, w tym tryb komunikacji w czasie rzeczywistym, komunikacja z synchronizacją zegara, wymiana danych: cykliczna/acykliczna, itd. Zdefiniowano przy tym najważniejsze parametry sieci oraz zarządzanie cyklem sieci. W końcowej części rozdziału opisano diagnostykę sieci PROFINET IO. Przy czym diagnostyka została zrealizowana na podstawie warstwy fizycznej, jak również na poziomie warstwy aplikacyjnej z wykorzystaniem różnych protokołów i narzędzi inżynierskich. Zamieszczono także jeden przykład diagnostyki zrealizowany w systemie SIMATIC.

3.1. Protokół TCP/IP

Protokół IP (ang. *Internet Protocol*) ma następujące funkcje [9, 13, 14]:

- wymiana danych pomiędzy urządzeniami na podstawie ich adresów IP,
- przesyłanie danych od nadawcy do odbiorcy otrzymanych z wyższych warstw np. protokołu TCP (ang. *Transmission Control Protocol*) czy UDP (ang. *User Datagram Protocol*),
- zarządzanie adresami IP powiązanymi z adresami MAC poprzez protokół ARP (ang. *Address Resolution Protocol*) i RARP (ang. *Reverse Address Resolution Protocol*).

Przykładowe polecenia do testowanie działania sieci na poziomie protokołu IP (konsola: Windows i Linux):

- nslookup – informacje serwera: odczyt nazwy domeny, adresy IP i aliasy,
- tracert – śledzenie marszrut,
- arp – badanie poprawności translacji adresów IP,
- ping – sprawdzanie możliwości nawiązania połączenia ze stacją zdalną,
- ipconfig /all – sprawdzanie konfiguracji interfejsu TCP/IP.

Adres IP jest liczbą 32-bitową, której poszczególne bajty zapisuje się w postaci liczb dziesiętnych oddzielonych kropkami. Starsze bity adresu IP są traktowane jako numer (adres) podsieci, w której pracuje stacja, a młodsze – jako lokalny adres stacji w ramach podsieci. Przypisanie adresów IP dla stacji/węzłów sieci pociąga za sobą przydzielenie tych stacji do podgrup sieci/podsieci (ang. *subnet*). Do wydzielenia adresu podsieci służy 32-bitowa maska. Adres maski sieci (ang. *mask*) składa się z 4 liczb dziesiętnych oddzielonych kropką o długości 8 bitów. Na każdej pozycji może występować wartość od 0 do 255, np: 255.255.0.0. Reprezentacja binarna adresu maski pozwala określić, która część adresu określać będzie numer podsieci, a która adres stacji. W binarnym zapisie adresu maski ciąg wartości ”1” określa adres podsieci, a ciąg wartości ”0” określa adres stacji, poprawne wartości to np.:
255.255.0.0 = 1111 1111. 1111 1111. 0000 0000. 0000 0000
255.254.0.0 = 1111 1111. 1111 1110. 0000 0000. 0000.0000

Dla przykładu jeżeli mamy:
IP: 192.168.1.1
MASK: 255.255.0.0
wtedy: 192.168 – określa numer sieci, 1.1 – określa numer stacji.
Przykładowa błędna wartość adresu maski:
255.255.1.0 = 1111 1111. 1111 1111. 0000 0001. 0000 0000

Kolejne ustawienie adresu dotyczy bramy sieci (ang. *gate*), przez którą jedna sieć jest połączona z kolejną. Adres bramy sieci również składa się z czterech liczb dziesiętnych o wartościach od 0 do 255, np. 192.168.0.1. Należy przy tym pamiętać, że adres IP i adres bramy sieci mogą różnić się tylko na tych pozycjach, dla których adres maski ma wartość ‘’0’’. Poprawne wartości to np.

IP:	192.168.0.1,	192.168.0.1
maska:	255.255.255.0,	255.255.0.0
brama:	192.168.0.2,	192.168.10.10

Część adresu IP określającego stację nie może mieć wartości 0 lub 255, np. adres 127.0.0.0 jest poprawny ale nie można go przypisać żadnej stacji z uwagi na wykorzystanie do testowania pętli zwrotnej protokołu IP. Z uwagi na lepsze zarządzanie, przestrzeń adresowa IP jest podzielona na klasy. Klasy dostępnych adresów IP zostały przedstawione w tabeli 3.1.

Tabela 3.1. Klasy adresów IP [17, 19]

KLASA SIECI	ZAKRES ADRESÓW IP	IDENTYFIKATOR SIECI	IDENTYFIKATOR STACJI	MASKA SIECI	WIELKOŚĆ SIECI
A	0.0.0.0→127.255.255.255	1 BAJT	3 BAJTY	255.0.0.0	DUŻE SIECI
B	128.0.0.0→191.255.255.255	2 BAJTY	2 BAJTY	255.255.0.0	ŚREDNIE SIECI
C	192.0.0.0→223.255.255.255	3 BAJTY	1 BAJT	255.255.255.0	MAŁE SIECI

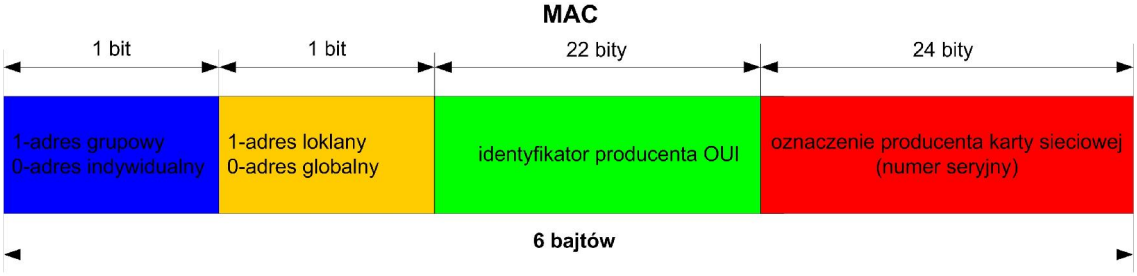
Podwarstwą standardu sieci Ethernet (IEEE 802) jest MAC (ang. *Media Access Control*). Adres urządzenia używany w tej podwarstwie jest nazywany adresem MAC. Jest to unikatowy w skali światowej numer, który jest nadawany przez producenta danej karty sieciowej. Podwarstwa MAC pełni następujące funkcje:

- kontrola dostępu do medium transmisyjnego,
- ochrona przed błędami,
- adresowanie stacji docelowej,
- kontrola przepływu pomiędzy stacją końcową a urządzeniami pośredniczącymi,
- filtrowanie ramek w celu redukcji propagacji w sieciach LAN i MAN.

Właściwości adresu MAC:

- jest zawsze o długości 6 bajtów,
- pierwsze 24 bity oznaczają producenta karty sieciowej,
- kolejne 22 bity są unikatowym identyfikatorem danego egzemplarza karty OUI (ang. *Organization Unique Identifier*),
- następny bit oznacza adres administrowany lokalnie (ang. *locally administered*), gdy jego wartość wynosi 1 lub adres administrowany globalnie (ang. *globalny unique*), gdy jego wartość równa się 0,
- ostatni bit oznacza adres grupowy (ang. *multicast*), gdy jego wartość wynosi 1 lub adres indywidualny (ang. *unicast*), gdy jego wartość równa się 0,
- nowsze karty ethernetowe pozwalają na zmianę nadanego im adresu MAC,
- adres MAC można zmieniać w PLC (IO-Controller) natomiast nie można go modyfikować w urządzeniach peryferyjnych (IO-Device).

Struktura i przykłady adresów MAC w Ethernet zostały przedstawione na rys. 3.1



Przykłady MAC

Lp.	Adres MAC	Przeznaczenie
1	00-00-00-00-00-00	Zarezerwowany dla stacji, które aktualnie nie mają nadanego adresu MAC
2	FF-FF-FF-FF-FF-FF	Ogólny adres rozgłoszeniowy wykorzystywany np: przez DHCP (ang. *Dynamic Host Configuration Protocol*)
3	01-0E-CF-00-00-00	DCP (ang. *Discovery and Configuration Protocol*)
4	01-15-4E-00-00-00	MRP (ang. *Media Redundancy Protocol*)
5	01-80-C2-00-00-0E	PTCP (ang. *Precision Transparent Clock Protocol*)
6	01-0E-CF-00-04-00	RTA Sync and Announce (ang. *Real Time Acyclic Protcol*)

Rys. 3.1. Struktura i rodzaje adresów MAC [19]

3.2. Model ISO/OSI

Model warstwowy ISO/OSI przedstawiono w tabeli 3.2.

Tabela 3.2. Model warstwowy według normy ISO [9, 10]

APLIKACJA W WĘŹLE	
↑ WARSTWA APLIKACJI ↓	HTTP, FTP, SMTP
↑ WARSTWA PREZENTACJI ↓	
↑ WARSTWA SESJI ↓	
↑ WARSTWA TRANSPORTOWA ↓	TCP, UDP, SPX
↑ WARSTWA SIECIOWA ↓	IP, ARP, RARP, IPX
↑ WARSTWA ŁĄCZA DANYCH ↓	SPECYFIKACJA ETHERNET IEEE 802.3
↑ WARSTWA FIZYCZNA ↓	
← MEDIUM TRANSMISYJNE →	

ARP (ang. *Address Resolution Protocol*)
FTP (ang. *File Transfer Protocol*)
HTTP (ang. *HyperText Transfer Protocol*)
IP (ang. *Internet Protocol*)
IPX (ang. *Internet Protocol Exchange*)
RARP (ang. *Reverse Address Resolution Protocol*)
SMTP (ang. *Simple Mail Transfer Protocol*)
SPX (ang. *Sequenced Pacet Exchange*)
TCP (ang. *Transmission Control Protocol*)
UDP (ang. *User Datagram Protocol*)

3.3. Media transmisji dla Ethernet 10Mb/s

Parametry medium dla Ethernet 10Mb/s zebrano i przedstawiono w tabeli 3.3.

Tabela 3.3. Parametry medium dla Ethernet 10Mb/s [19]

OZNACZENIE	**STANDARD**	**OPIS**	**WYKORZYSTANIE**
10BASE5	802.3	▪ DŁUGOŚĆ SEGMENTU 500M, ▪ PRZEWÓD MIEDZIANY, DWIE ŻYŁY, ▪ MAX. 100 STACJI W SEGMENCIE	NIE
10BASE2	802.3A	▪ DŁUGOŚĆ SEGMENTU 185M, ▪ PRZEWÓD MIEDZIANY, DWIE ŻYŁY, ▪ MAX. 30 STACJI W SEGMENCIE	NIE
10BASET	802.3I	▪ DŁUGOŚĆ SEGMENTU 100M, ▪ PRZEWÓD TYPU SKRĘTKA MIEDZIANY, ▪ 2 PARY PRZEWODÓW, ▪ MAX. 2 STACJE W SEGMENCIE	TAK
10BASEF	802.3J	▪ DŁUGOŚĆ SEGMENTU 2000M, ▪ PRZEWÓD TYPU ŚWIATŁOWÓD, ▪ MAX. 2 STACJE W SEGMENCIE	TAK

3.4. Media transmisji dla Ethernet 100Mb/s

Parametry medium dla Ethernet 100Mb/s zebrano i przedstawiono w tabeli 3.4.

Tabela 3.4. Parametry medium dla Ethernet 100Mb/s [19]

OZNACZENIE	STANDARD	OPIS	WYKORZYSTANIE W PROFINET	RODZAJ MEDIUM
100BASEFX	802.3U	▪ MAX. ŚREDNICA SIECI BEZ REPEATERÓW 452M, ▪ MAX. ŚREDNICA SIECI Z REPEATERAMI 205M, ▪ MAX. LICZBA REPEATERÓW 2 LUB 1, ▪ MIN. DŁUGOŚĆ RAMKI DANYCH 64 BAJTY, ▪ CZAS PRZESŁANIA 1 BITU RÓWNY 10NS.	TAK	ŚWIATŁOWÓD,
100BASETX	802.3U		TAK	SKRĘTKA 2 PARY MIEDŹ,
100BASET4	802.3U		NIE	SKRĘTKA 4 PARY MIEDŹ,
100BASET2	802.3Y		NIE	SKRĘTKA 2 PARY, MIEDŹ

3.5. Sposób dostępu do medium w sieci Ethernet

Podstawową wadą sieci Ethernet jest brak przewidywania dostępności medium, czyli brak determinizmu. Podstawowym algorytmem pracy jest CSMA/CD (ang. *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) [19]. Protokół CSMA/CD służy do ciągłego nasłuchiwania sieci pod kątem wykrycia ciszy (stan, w którym żadna z stacji nie nadaje informacji). Wykrycie stanu ciszy oznacza prawo do nadawania przez daną stację. W przypadku wykrycia kolizji wysyłanych danych protokół pozwala na powtarzanie (max. do 15 powtórzeń) nadawania informacji. Po kolizji stacja wstrzymuje nadawanie na czas o losowo wybranej długości, po czym ponawia próbę. To właśnie losowy czas zwłoki pozwala uniknąć ponownej kolizji, ale za cenę wprowadzenia niedeterminizmu. Podstawowe kroki działania sieci Ethernet z protokołem CSMA/CD są następujące:

- oczekiwanie i wykrywanie ciszy – CSMA/CD,
- w przypadku wykrycia ciszy dalsze oczekiwanie przez czas IFG (min. 96 t_{bit}) w celu potwierdzenia zwolnienia medium,
- rozpoczęcie transmisji z jednoczesnym nasłuchiwaniem,
- brak kolizji podczas nadawania oznacza dla stacji/nadawcy, że dane zostały poprawnie wysłane,
- w przypadku wykrycia kolizji nadawca kończy wysyłanie dodając do ramki z danymi dodatkowe 32 bity, które informują pozostałe stacje w sieci o wystąpieniu kolizji,
- brak kolizji podczas nadawania pierwszych 512 bitów oznacza dla stacji/nadawcy, że ma wolny kanał do nadawania (kolizja już wtedy nie jest możliwa).

Wykorzystanie protokołu CSMA/CD powoduje, że w sieci Ethernet nie można określić/przewidzieć maksymalnego czasu przesłania danych. Determinizm sieci można poprawić poprzez stosowanie przełączników lub pomostów (bridge) oraz dzieląc sieć na mniejsze podsieci, co pozwala przesyłać pakiety w ramach jednego segmentu.

3.6. Ramki sieci Ethernet

Ramka pierwotna sieci Ethernet [4, 6]:

NAGŁÓWEK	SFD	DA	SA	LEN/TYP	DANE	FCS
SYNCHRONIZACJA TRANSMISJI (7 BAJTÓW)	ZNACZNIK STARTU (1 BAJT)	ADRES ODBIORCY (6 BAJTÓW)	ADRES NADAWCY (6 BAJTÓW)	DŁUGOŚĆ/TYP RAMKI – ILOŚĆ DANYCH LUB KOD PROTOKOŁU (2 BAJTY)	POLE DANYCH OD 46 DO 1500 BAJTÓW	KOD NADMIAROWY (4 BAJTY)
←MAKSYMALNY ROZMIAR RAMKI TO 1518 BAJTÓW, MINIMALNY 64 BAJTY→						

Przykładowe identyfikatory pola LEN/typ:

WARTOŚĆ	ZNACZENIE
<0x0600>	ROZMIAR POLA DANYCH RAMKI IEEE802.3
0x0600	RAMKA ETHERNET II
0x0800	PROTOKÓŁ IP
0x0806	PROTOKÓŁ ARP
0x8100	VLAN TPID
0x8892	PROFINET RTC, RTA, DCP, PTCT, MRRT
0x88E3	MRP
0x88CC	LLDP

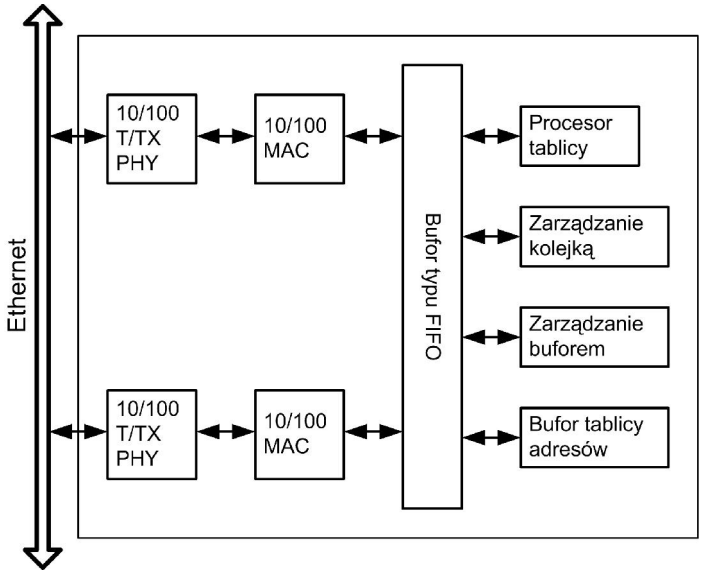
VLAN (ang. *Virtual Local Area Network*)
TPID (ang. *Tag Protocol Identifier*)
RTC (ang. *Real Time Clock*)
DCP (ang. *Discovery and Configuration Protocol*)
PTCP (ang. Precision Transparent Clock Protocol) do synchronizacji w IRT
IRT (ang. *Isochronous Real Time*) do synchronizacji w RT
MRRT (ang. *Media Redundancy Real-Time*) do redundancji sieci z RT
MRP (ang. *Media Redundancy Protocol*)
LLDP (ang. *Link Layer Discovery Protocol*) do definicji topologii sieci

Rozszerzona ramka sieci Ethernet:

NAGŁÓWEK	SFD	DA	SA	TAG				LEN/TYP	DANE	FCS
SYNCHRONIZACJA TRANSMISJI (7 BAJTÓW)	ZNACZNIK STARTU (1 BAJT)	ADRES ODBIORCY (6 BAJTÓW)	ADRES NADAWCY (6 BAJTÓW)	TPID	TCI			DŁUGOŚĆ/TYP RAMKI – ILOŚĆ DANYCH LUB KOD PROTOKOŁU (2 BAJTY)	POLE DANYCH OD 46 DO 1500 BAJTÓW	KOD NADMIAROWY (4 BAJTY)
				TAG PROTOCOL ID	USER PRIORITY	CFI	VLAN ID			
←MAKSYMALNY ROZMIAR RAMKI TO 1522 BAJTÓW→										

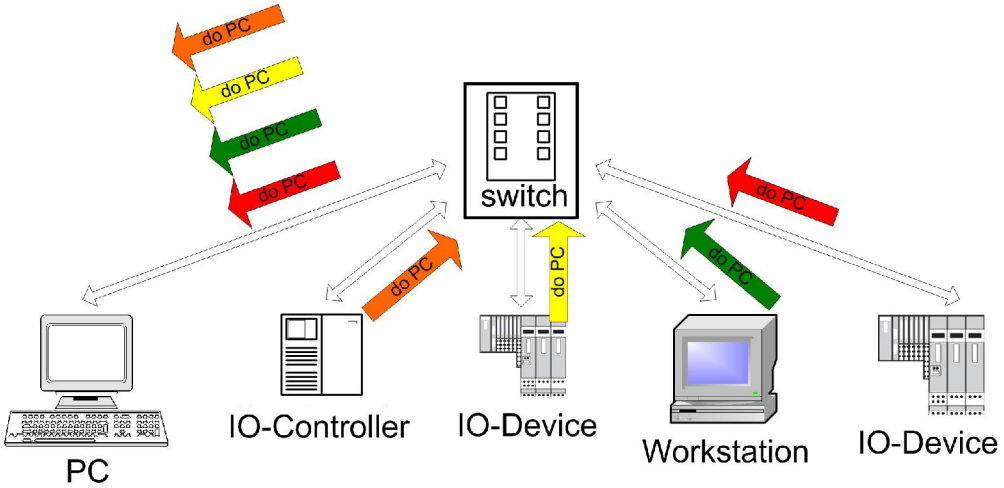
3.7. Praca urządzeń typu switch

Determinizm sieci Ethernet można zapewnić poprzez zastosowanie przełączników (ang. *switch*). Urządzenia typu switch (przełączniki) są stosowane w sieci do kierowania strumieniami danych do wielu urządzeń. Przełącznik posiada pamięć adresów źródłowych MAC urządzeń. Adresy są zapisywane w dynamicznej tablicy FBD. Kolejność adresów wpisywanych do tablicy FBD zależy od kolejności odbieranych ramek danych z urządzeń typu źródło (ang. *source*). W przypadku, gdy dane urządzenie odbiorcze (ang. *destination device*) nie odpowiada na dane kierowane przez przełącznik, jego adres w tablicy FBD zostaje usunięty. Urządzenie switch przesyła także dane do wszystkich stacji w celu wykrywania nowych adresów. Budowa wewnętrzna przełącznika została przedstawiona na rysunku 3.2.



Rys. 3.2. Budowa przełącznika [13]

W sieci Ethernet wykorzystującej switch nie ma możliwości kolizji danych, ponieważ w danej chwili medium komunikacyjne wykorzystują tylko dwie stacje wymieniające dane w trybie full-duplex. Przełącznik buforuje i kieruje pakiety danych, a ewentualne opóźnienia transmisji zależą od liczby pakietów oczekujących, długości pakietów (w formie ramek danych) oraz szybkości transmisji. Zasada pracy przełącznika w sieci została przedstawiona na rysunku 3.3.



Rys. 3.3. Sieć z przełącznikiem [23]

Przełącznik pozwala na wprowadzenie priorytetyzacji pakietów danych. W przypadku otrzymania przez przełącznik kilku pakietów danych adresowanych do tej samej stacji, w pierwszej kolejności zostaną przesłane pakiety o najwyższym priorytecie. Jeżeli pakiety mają ten sam priorytet, wtedy obowiązuje zasada FIFO (ang. *First Input First Output*). Działanie przełącznika można podzielić na dwa najczęściej używane algorytmy:

- algorytm przechowywania/buforowania i przesyłania (ang. *Store and Forward*) – polega na zapamiętywaniu całych ramek danych przed ich wysłaniem. Pozwala to na wyeliminowanie ramek uszkodzonych lub za krótkich, tzn. takich, gdzie istniej błąd sumy kontrolnej. Wadą tego algorytmu jest opóźnienie generowane przez switch, które jest równe czasowi transmisji ramki,
- algorytm z przycinaniem ramek (ang. *Cut Throught*) – polega na przesyłaniu danych natychmiast po otrzymaniu adresu docelowego MAC. Ten algorytm wprowadza minimalne opóźnienie.

3.8. Profil komunikacyjny sieci PROFINET IO

3.8.1. Wprowadzenie

Standard PROFINET IO wykorzystuje kilka profili do komunikacji [29]. Pozwala na przesyłanie danych niekrytycznych czasowo, np. dane konfiguracyjne, parametry, informacje o połączeniach, itd. Wykorzystuje przy tym protokół TCP/IP oraz UDP. Dodatkowo sieć PROFINET IO to system sterowania w czasie rzeczywistym, czyli przesyłanie danych krytycznych czasowo z wykorzystaniem kanału czasu rzeczywistego SRT (ang. *Soft Real Time*). Kolejnym profilem komunikacji tej sieci jest komunikacja z synchronizacją czasu (synchronizacja zegara). W tym profilu wykorzystuje się np. komunikację izochroniczną w czasie rzeczywistym IRT (ang. *Isochronous Real Time*). Tryb pracy IRT zapewnia dokładność impulsów sterujących na poziomie 1μs przy okresie zegara 1ms. Wymienione powyżej trzy profile komunikacji stanowią poszczególne poziomy wydajności systemu PROFINET IO, które pozwalają na [24]:

- równoległe wykorzystanie np. protokołu RT i TCP,
- realizację komunikacji w trybie RT dla sterowników PLC i peryferii (urządzeń polowych),
- skalowania wydajności komunikacji czasu rzeczywistego w zależności od potrzeb aplikacji

Wymiana danych w sieci PROFINET IO jest inicjalizowana z wykorzystaniem głównie protokołu UDP/IP. Przesyłanie parametrów oraz danych diagnostycznych także odbywa się z wykorzystaniem protokołu UDP/IP. Dane te są przesyłane acyklicznie i równolegle z danymi procesowymi przesyłanymi cyklicznie. Dzięki temu stacje operatorskie w każdej chwili i bez obciążania transmisji danych procesowych mają dostęp do urządzeń polowych pracujących w sieci.

3.8.2. Typy urządzeń systemu PROFINET i ich zadania

W systemie PROFINET IO rozróżnia się trzy typy urządzeń:

- IO-Controller – jednostka główna/sterownik PLC odpowiedzialna za wymianę informacji we/wy z urządzeniami peryferyjnymi,
- IO-Device – urządzenie obiektowe/peryferyjne, które udostępnia informacje dla jednostki głównej typu IO-Controller,
- IO-Supervisor – stacja do konfiguracji, parametryzacji i diagnostyki. Najczęściej komputer PC lub komputer przemysłowy przenośny wyposażony w oprogramowanie do zarządzania systemem sieciowym.

Główną cechą urządzeń sieci PROFINET IO jest to, że mają co najmniej jedno gniazdo PROFINET (np. RJ45). Przy czym urządzenie może mieć wiele gniazd PROFINET (np. switch) lub np. mieć gniazdo PROFIBUS i pracować jako master z funkcją *proxy*.
Urządzeniem w sieci PROFINET IO może być:

- stacja PC/PG,
- sterownik PLC,
- wyspa rozproszonych wejść/wyjść (ang. input/output, I/O),
- moduł inteligentny I/O,
- urządzenia obiektowe typu sensory i aktuatory ze złączem komunikacyjnym,
- aktywne komponenty sieciowe typu np. switch, router,
- moduły komunikacyjne do innych sieci – urządzenia *proxy*,
- urządzenia do monitorowania i operowania typu np. HMI (ang. *Human Machine Interface*).

Zadania poszczególnych urządzeń w sieci PROFINET IO:

- IO-Controller – jest nadrzędną jednostką sterującą obiektem lub procesem sterowania na podstawie wykonywanego algorytmu w oparciu o wartości zmiennych procesowych uzyskiwane według cyklu sieci z urządzeń peryferyjnych (IO-Device). Dodatkowo IO-Controller zarządza cyklem sieci, obsługą alarmów, inicjacją komunikacji oraz komunikacją z innymi urządzeniami typu IO-Controller,
- IO-Device – jest podrzędnym urządzeniem peryferyjnym, którego głównym zadaniem jest bezpośrednie sterowanie urządzeniami wykonawczymi procesu sterowania na podstawie informacji otrzymywanych cyklicznie od IO-Controller. Dodatkowo urządzenie to udostępnia zmienne procesowe zbierane z obiektu/procesu sterowania i udostępnia je dla sterownika nadrzędnego.
- IO-Supervisor – spełnia zadanie stacji inżynierskiej wykorzystywanej do projektowania, parametryzowania, konfigurowania, programowania, monitorowania, diagnostyki i obsługi alarmów sieci PROFINET IO.

W szczególnym przypadku stacja PC wyposażona w interfejs PROFINET IO (moduł komunikacyjny) może pracować jako sterownik IO-Controller. Przy czym stacja PC może wykorzystywać jedną z dwóch możliwości:

- działanie jako klient OPC (ang. *OLE for process control*, *OLE – Object Linking and Embedding*). Klient OPC korzysta z usług serwera OPC i posiada dostęp do danych procesowych,
- połączenie bezpośrednie przez interfejs użytkownika PROFINET IO Base.

3.8.3. Identyfikacja urządzeń w sieci PROFINET IO

Identyfikacja urządzeń sieci PROFINET IO odbywa się z wykorzystaniem:

- adresu MAC (ang. *Media Access Control*) ustawionego fabrycznie,
- adresu IP (ang. *Internet Protocol*),
- nazwy stacji (ang. *name of the station*).

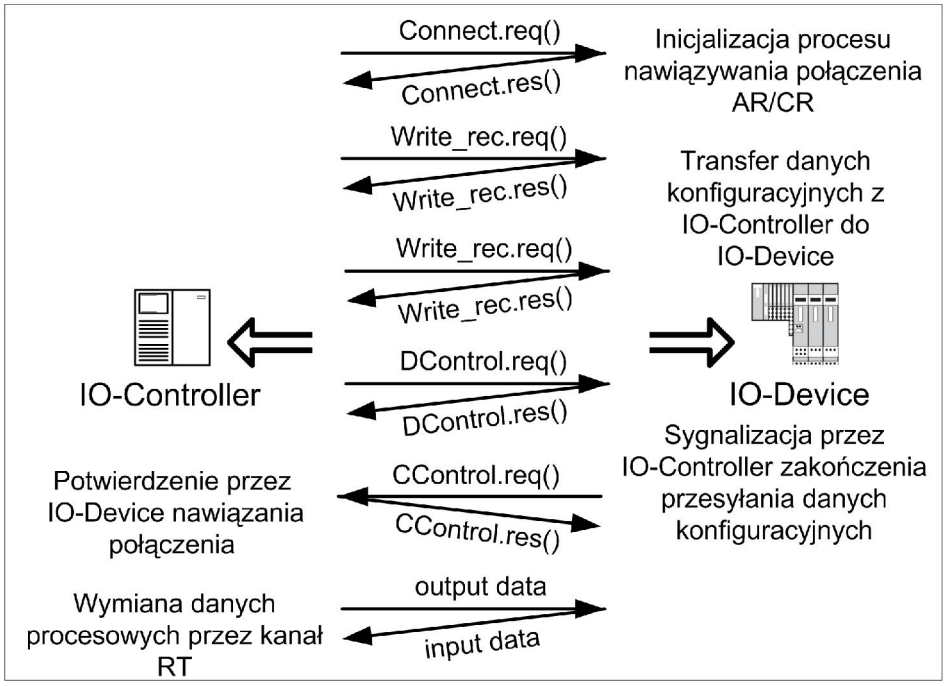
Za przypisywanie nazw oraz adresów IP stacjom IO-Device odpowiada protokół DCP (ang. *Discovery and Configuration Protocol*). Przypisywanie nazw i adresów IP jest realizowane na etapie inicjacji systemu sieci projektowanej w środowisku np. 'HW Config'.

3.8.4. Inicjacja i powiązania komunikacyjne w PROFINET IO

Aby możliwa była wymiana danych procesowych pomiędzy jednostką IO-Controller a stacją IO-Device konieczne jest ustanowienie kanału komunikacyjnego. Kanał komunikacyjny AR (ang. *Application Relation*) jest inicjalizowany przez IO-Controller na podstawie struktury sieci zdefiniowanej w środowisku projektowym. Jedno powiązanie AR może zawierać kilka relacji komunikacyjnych CR (ang. *Communication Relation*). Inicjacja komunikacji w sieci PROFINET IO pomiędzy stacją IO-Controller a IO-Device składa się z następujących kolejno etapów:

- sprawdzenie dostępności stacji zdefiniowanych w projekcie, w przypadku braku stacji IO-Device, stacja IO-Controller cyklicznie sprawdza jej dostępność,
- weryfikacja nazw i adresów IP stacji,
- nawiązywanie kanału komunikacyjnego (AR) poprzez funkcjonalność określaną jako *Context Management*, która bazuje na protokole UDP/IP z wykorzystaniem bezpołączeniowych mechanizmów, takich jak: DCE RPC (ang. *Distributed Computing Environment Remote Procedure Call*),
- inicjacja relacji komunikacyjnej (CR), konfiguracja i parametryzacja stacji,
- przekazywanie danych procesowych w sposób cykliczny przez kanał RT,
- przesyłanie informacji diagnostycznych i alarmów w sposób acykliczny.

Inicjalizacja komunikacji pomiędzy stacją IO-Controller, a IO-Device została przedstawiona na rysunku 3.4.



Rys. 3.4. Inicjalizacja komunikacji [19, 23]

Powiązania pomiędzy kanałami komunikacyjnymi (AR) dzielimy na:

- IO AR, które:
  - nawiązywane jest pomiędzy IO-Controller/IO-Supervisor a IO-Device,
  - służy głównie do cyklicznej wymiany danych procesowych pomiędzy urządzeniami,
  - umożliwia acykliczną wymianę danych poprzez usługi zapisu i odczytu (np. parametrów konfiguracyjnych i informacji diagnostycznych),
  - przekazuje alarmy,
- Supervisor AR, które:
  - posiada takie same właściwości jak IO AR,
  - nawiązywane jest pomiędzy IO-Supervisor a IO-Device,
- Implicite AR, które:
  - umożliwia tylko odczyt danych w trybie cyklicznym i acyklicznym.

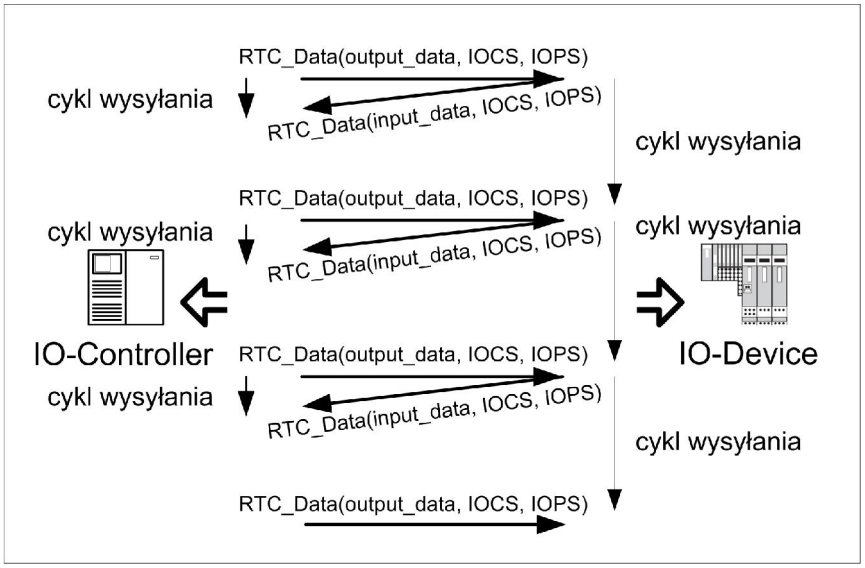
W ramach relacji komunikacyjnej (CR) wyróżnia się 3 rodzaje połączeń:

- IO-Data – połączenie do przekazywania danych we/wy (dane procesowe),
- Record Data – połączenie do przekazywania rekordów danych (adresy IP do czytania danych),
- Alarm – połączenia do przesyłania alarmów.

Przekazywanie danych procesowych jest najważniejszym połączeniem komunikacyjnym. Główne cechy połączenia IO-Data są następujące:

- przekazywanie danych procesowych w trybie RT,
- wymiana danych na bazie modelu: *Provider-Consumer,*
- kontrola sekwencji ramek na podstawie licznika cykli,
- konfigurowalna długość interwału wysyłania i odbierania danych,
- dane przesyłane bez potwierdzeń,
- parametryzowane czasy odświeżania danych z modułów.

Schemat wymiany danych procesowych podczas połączenia komunikacyjnego IO-Data został przedstawiony na rysunku 3.5.



Rys. 3.5. Wymiana danych procesowych podczas połączenia IO-Data [19, 23]

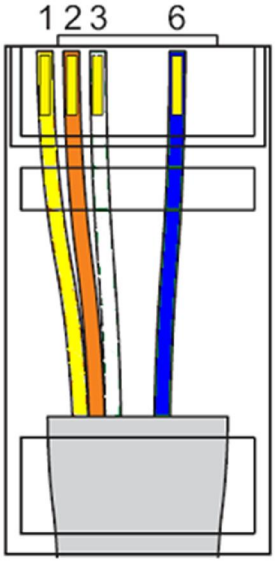
Dane procesowe są przesyłane wraz z indeksem statusu modelu *Provider-Consumer*, są to IOCS (ang. *IO Consumer Status*) oraz IOPS (ang. *IO Provider Status*). Bajty statusu IOCS i IOPS zawierają adresy diagnostyczne stacji.

3.9. Warstwa fizyczna

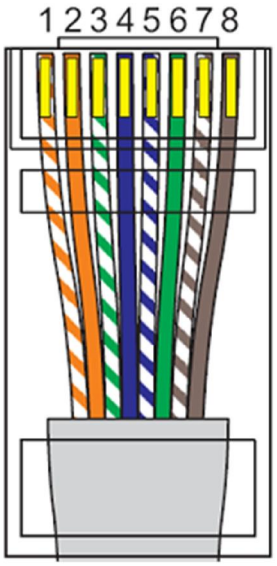
Na poziomie warstwy fizycznej interfejs sieci PROFINET IO reprezentują złącza, okablowanie oraz porty implementowane w urządzeniach. Dotyczy to zarówno sieci opartych na przewodzie typu skrętka, czy sieci realizowanych na światłowodach.

3.9.1. Okablowanie

Przewód komunikacyjny miedziany oparty na skrętce czterożyłowej jest najczęściej stosowany w przewodowych sieciach PROFINET IO. Obecnie stosowane przewody są kategorii 5, 6 lub 7. Położenie i znaczenie pinów przewodu czterożyłowego i ośmiożyłowego zostało pokazane na rysunku 3.6.



Pin	Kolor żyły 4x2	Kolor żyły 2x2	Funkcjonalność
1	biały/ pomarańczowy	żółty	dane TX+
2	pomarańczowy	pomarańczowy	dane TX-
3	biały/zielony	biały	dane RX+
4	niebieski		masa -
5	biały/niebieski		masa -
6	zielony	niebieski	dane RX-
7	biały/brązowy		zasilanie +
8	brązowy		zasilanie +

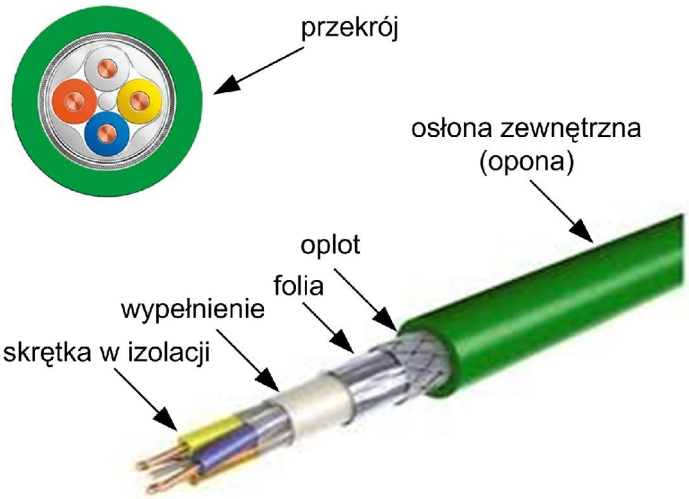


Rys. 3.6. Piny przewodów typu skrętka [19]

Przewód typu skrętka miedziana używany w komunikacji PROFINET IO jest zbudowany z kilku warstw:

- opona zewnętrzna z tworzywa sztucznego w kolorze zielonym lub czarnych, która chroni przewód przed uszkodzeniami mechanicznymi i działaniu atmosfery,
- ekran przewodu, który powinien być połączony do uziemienia celem wyrównania potencjałów. Ekran chroni przewód komunikacyjny przed przepięciami, zwarciami oraz zakłóceniami elektromagnetycznymi generowanymi przez sprzężenie pojemnościowe. Ekran składa się z:
    - oplotu z siatki miedzianej, który zapewnia ochronę przed zakłóceniami elektromagnetycznymi o częstotliwości do 50MHz,
    - folii aluminiowej zapewniającej ochronę przed zakłóceniami elektromagnetycznymi o częstotliwości powyżej 50MHz,
- wypełnienie przewodu z tworzywa sztucznego, które zabezpiecza skrętkę żył przewodowych,
- skrętka przewodów 2 pary lub 4 pary żył w izolacji, skręcenie przewodów pozwala na eliminację zakłóceń elektromagnetycznych wprowadzanych przez sprzężenie indukcyjne. Dzięki skręceniu przewodów, prądy indukowane w poszczególnych żyłach płyną w przeciwnych kierunkach i w rezultacie się znoszą.

Budowa przewodu komunikacyjnego opartego na skrętce miedzianej przedstawiono na rysunku 3.7.



Rys. 3.7. Budowa przewodu PROFINET typu: standard GP, 2x2 [29]

Standard PROFINET IO oferuje 3 klasy zgodności dla okablowania i infrastruktury sieci. Są to klasy A, B i C. Wszystkie klasy prezentują pasywne elementy infrastruktury sieci zgodne z normą IEC 61784-5-3 oraz interfejsy komunikacyjne bazujące na przewodach miedzianych lub światłowodowych zgodnych z normą IEEE 802.3. Najszersze zastosowanie ma klasa A, do której należą konektory i przewody zgodne z normami IEC 61784-5-3/IEC 24702, połączenia bezprzewodowe (WLAN i Bluetooth) oraz przełączniki IT zgodne z normą IEEE 802.1ab. W klasie B znajdują się dodatkowo przełączniki (switch) z funkcją stacji IO-Device. Do klasy C zalicza się dodatkowo przełączniki sieciowe z funkcją urządzenia IO-Device i rezerwacją pasma.
Parametry techniczne przewodów komunikacyjnych typu skrętka miedziana używanych w PROFINET IO zebrano w tabeli 3.5.

Tabela 3.5. Parametry przewodów typu skrętka [19]

RODZAJ KLASY OKABLOWANIA / WŁAŚCIWOŚCI	KLASA A	KLASA B	KLASA C
ILOŚĆ ŻYŁ PRZEWODU	2X2 LUB 1X4	2X2 LUB 1X4	2X2 LUB 1X4
ŚREDNICA PRZEKROJU ŻYŁY	1.4 ±0.2MM	1.4 ±0.2MM	ZALEŻNY OD APLIKACJI
ŚREDNICA ZEWNĘTRZNA PRZEWODU	5.5÷8.0MM	5.5÷8.0MM	ZALEŻNY OD APLIKACJI
KOLOR OSŁONY ZEWNĘTRZNEJ	ZIELONY	ZIELONY	ZALEŻNY OD APLIKACJI
RODZAJ EKRANU	OPLOT Z SIATKI MIEDZIANEJ ORAZ FOLIA ALUMINIOWA	OPLOT Z SIATKI MIEDZIANEJ ORAZ FOLIA ALUMINIOWA	ZALEŻNY OD APLIKACJI
RODZAJ KONEKTORA/ZŁĄCZA	RJ45 Z OCHRONĄ IP20 LUB IP65/67, ZŁĄCZE M12	RJ45 Z OCHRONĄ IP20 LUB IP65/67, ZŁĄCZE M12	RJ45 Z OCHRONĄ IP20 LUB IP65/67, ZŁĄCZE M12
ZASTOSOWANIE PRZEWODU	APLIKACJE STACJONARNE BEZ ODKSZTAŁCEŃ PRZEWODU KOMUNIKACYJNEGO	APLIKACJE O SPORADYCZNYM ODKSZTAŁCANIU PRZEWODU KOMUNIKACYJNEGO (WIBRACJE)	APLIKACJE SPECJALNE, GDZIE WYMAGANA JEST WYSOKA ELASTYCZNOŚĆ PRZEWODU NARAŻONEGO NA CIĄGŁE ODKSZTAŁCENIA I DRGANIA

Ze względu na zastosowanie i wymagania aplikacji przemysłowych wyróżniamy następujące rodzaje przewodu komunikacyjnego [17, 19]:

- IE FC TP Standard Cable GP (ang. *Industrial Ethernet, Fast Connect, PROFINET, General Purpose, Standard Cable*) – przewód standardowy klasy A do szybkiej instalacji,
- IE FC TP Flexible Cable GP – przewód elastyczny klasy B, odporny na sporadyczne odkształcenia, do szybkiej instalacji,
- IE FC TP FRNC Cable GP – (ang. *Flame Retardent Non Corrosive*) przewód elastyczny klasy B, wolnopalny i odporny na korozję, przeznaczony do instalacji w budynkach,
- IE FC TP Trailing Cable – przewód wysokoelastyczny (linka) klasy C, odporny na ciągłe odkształcenia, przeznaczony do stosowania w instalacjach w prowadnicach łańcuchowych,
- IE FC TP Festoon Cable – przewód elastyczny (linka) klasy B, odporny na ciągłe odkształcenia, przeznaczony do stosowania w instalacjach w prowadnicach łańcuchowych,
- IE FC TP Torsion Cable – przewód wysokoelastyczny (linka) klasy C, odporny na ciągłe odkształcenia, przeznaczony do stosowania w aplikacjach sterowania manipulatorami i robotami,
- IE FC TP Food Cable – przewód specjalny, przeznaczony do stosowania w aplikacjach przemysłu spożywczego,

- IE FC TP Marine Cable – przewód specjalny, przeznaczony do stosowania w systemach sterowania i urządzeniach pokładowych statków.

3.9.2. Uwagi instalacyjne

Sieć PROFINET IO powinna spełniać następujące warunki instalacyjne:
- ze względu na dużą rezystancję połączeń typu: konektor-gniazdo, zaleca się stosowanie maksymalnie do 6 połączeń. Większa liczba połączeń spowoduje duże tłumienie sygnału pogarszając jego jakość,
- zaleca się nie modyfikować połączeń urządzeń,
- sieć budowana jest najczęściej o topologii liniowej,
- sieć powinna spełniać warunki pracy z czasem cyklu najczęściej poniżej 1ms,
- sieć powinna spełniać warunki pracy w środowisku, gdzie:
    - istnieją duże wahaniach temperatur i wilgotności powietrza,
    - występuje wysoki stopień zapylenia oraz agresywne działanie atmosfery,
    - występują drgania mechaniczne,
    - środowisko pracy musi być iskrobezpieczne,
    - istnieją silne pola elektromagnetyczne oraz inne zakłócenia elektryczne.

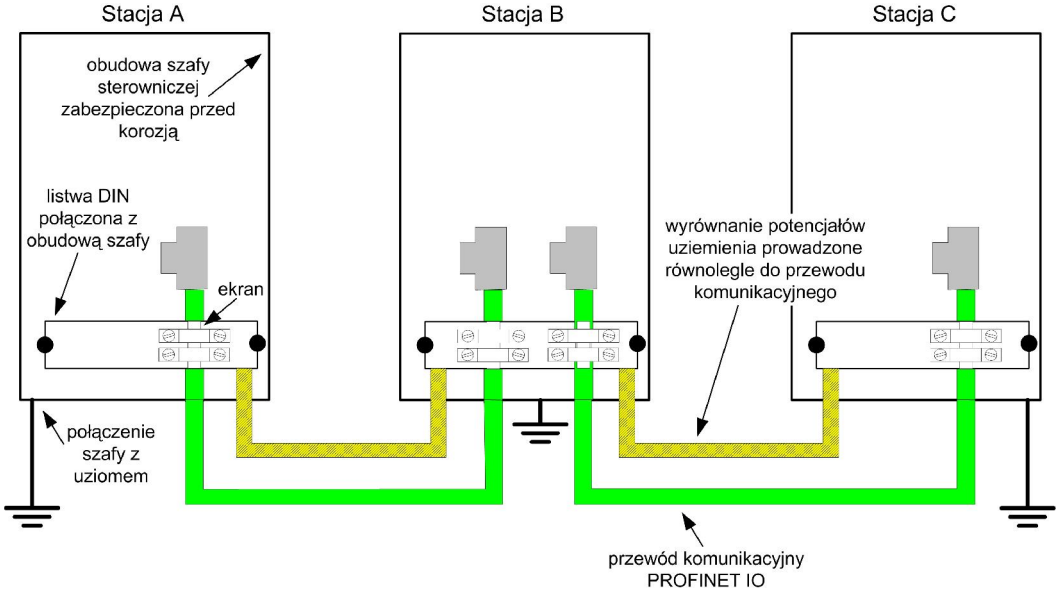
Zasady montażu przewodów komunikacyjnych sieci PROFINET IO są następujące:
- przewody sygnałowe i ich połączenia należy wykonywać zgodnie z normami i wytycznymi zawartymi w standardach,
- przewody komunikacyjne PROFINET IO powinny być prowadzone własnymi trasami,
- jeżeli przewody sygnałowe są prowadzone razem z zasilaniem, należy zapewnić min 20cm odstępu i zastosować dodatkowe ekranowanie w postaci przegród, koryt, itp.,
- przewody sygnałowe należy chronić przed uszkodzeniami mechanicznymi,
- należy przestrzegać minimalnego kąta zgięcia przewodu,
- ekran przewodu powinien być uziemiony po wprowadzeniu do szafy sterowniczej,
- przewód sygnałowy powinien być prowadzony równolegle do przewodu wyrównującego potencjały uziemienia,
- połączenia miedzy budynkami zaleca się wykonywać za pomocą światłowodu.

Ekranowanie i uziemienie ekranu przewodu komunikacyjnego pozwala na:
- zachowanie wymagań dotyczących kompatybilności elektromagnetycznej,
- ogranicza wpływ zakłóceń w postaci zewnętrznych pól elektrodynamicznych na transmisję danych,
- ochronę przed prądami wyrównującymi potencjały poprzez jego uziemienie na obydwu końcach. Dodatkowo uziemienie ekranu przewodu zapewnia:
    - eliminację zakłóceń elektromagnetycznych wprowadzanych przez sprzężenie pojemnościowe z linii zakłócających,
    - odprowadzenie sygnału zakłócającego do uziomu.

Podczas wykonywania uziemienia ekranu przewodu komunikacyjnego należy przestrzegać następujących zasad:
- uziemiać ekran na obu końcach przewodu w urządzeniach dla powierzchni ekwipotencjalnych lub tylko po stronie szafy sterowniczej,
- w przypadku, kiedy obiektu sterowania jest zasilany z kilku źródeł, należy każdą część obiektu połączyć galwaniczne z uziemieniem w kilku miejscach,
- w przypadku kiedy sieć jest prowadzona między budynkami – z uwagi na różnice potencjałów uziomów – stosować jako medium komunikacyjne światłowód,

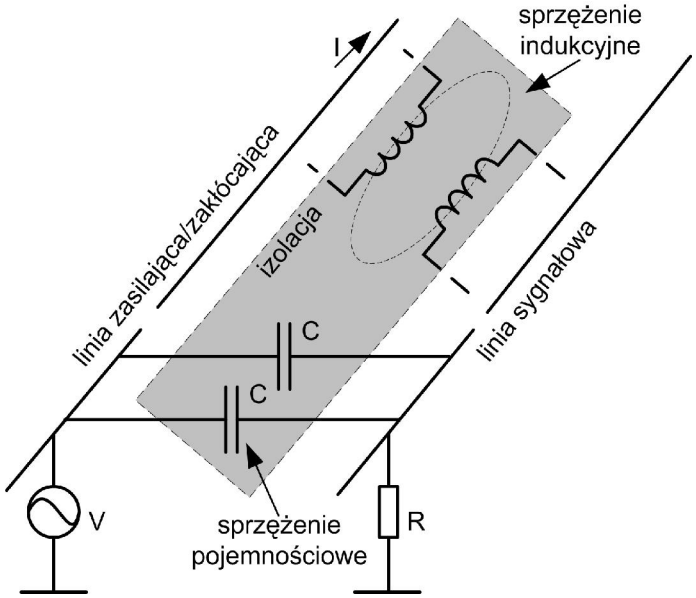
- przekrój przewodów i pola powierzchni połączeń uziemiających z szyną PE powinny być dobrane indywidualnie do maksymalnej wartości prądu elektrycznego jaki może wystąpić w danej aplikacji,
- ekran, przewód uziemiający, złącza i połączenia śrubowe powinny być zabezpieczone przed korozją, np. poprzez wykonanie z miedzi lub stali galwanizowanej,
- w przypadku długich sieci i środowiska pracy narażonego na silne pole elektromagnetyczne stosować światłowód,
- w przypadku prowadzenia przewodu poza budynkami, ze względu na wyładowania atmosferyczne zaleca się stosowanie połączeń światłowodowych lub bezprzewodowych.

Sposób wykonywania uziemienia ekranu przewodu komunikacyjnego przedstawiono na rysunku 3.8.

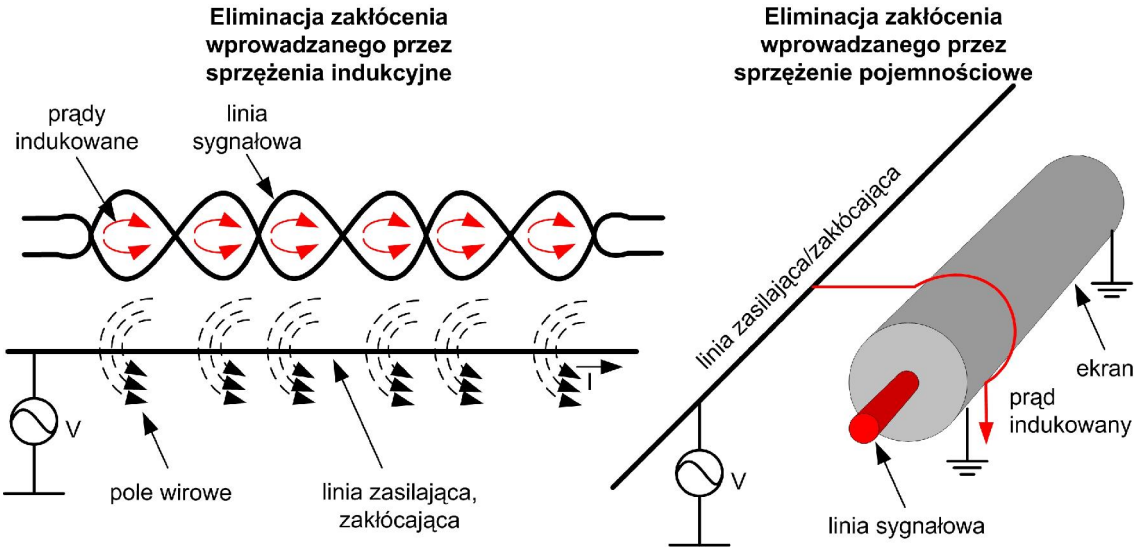


Rys. 3.8. Uziemienie przewodu sieci PROFINET IO [23]

Zakłócenia elektromagnetyczne i ich eliminowanie w przewodzie komunikacyjnym przedstawiono na rysunkach 3.9 i 3.10.



Rys. 3.9. Zakłócenia elektromagnetyczne wprowadzane przez sprzężenie indukcyjne i pojemnościowe [23]



Rys. 3.10. Eliminowanie zakłóceń wprowadzanych przez sprzężenie indukcyjne i pojemnościowe [23]

3.9.3. Złącza

Do złącz wykorzystywanych przez sieci elektryczne zaliczamy:

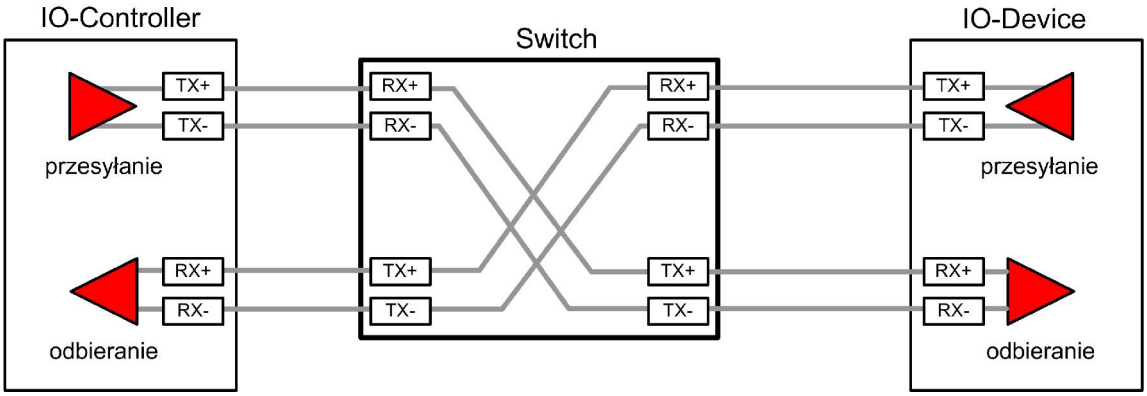
- złącze RJ45 na poziomie ochrony IP20 lub IP65,
- złącze M12 na poziomie ochrony IP65.

Złącza stosowane w infrastrukturze PROFINET IO zostały przedstawione na rysunku 3.11.

Rys. 3.11. Złącza elektryczne dla sieci PROFINET IO [29, 24, 25]

3.9.4. Układ połączeń

PROFINET IO bazuje na transmisji typu full-duplex (pełen duplex). Oznacza to, że dane są przesyłane i odbierane pomiędzy nadawcą a odbiorcą w sposób ciągły bez kolizji. Zastosowanie przełącznika (switch) pozwala na kierowanie pakietów danych do większej liczby urządzeń. Schemat połączeń stacji w trybie full-duplex został przedstawiony na rysunku 3.12.



Rys. 3.12. Połączenie typu full-duplex [23]

Parametry fizyczne stosowanych mediów komunikacyjnych w sieci PROFINET IO zebrano w tabeli 3.6.

Tabela 3.6. Parametry techniczne interfejsu PROFINET IO [4, 17]

Właściwości fizyczne	**Metody połączenia**	**Typ kabla/standard medium transmisji**	**Prędkość transmisji/tryb**	**Max. długość segmentu**	**Zalety**
Elektryczne	Przewód RJ 45 ISO 60603-7	100Base-TX Symetryczna ekranowana skrętka miedziana 2x2 wymagana CAT 5 IEEE 802.3	100 Mb/s full-duplex	100m zależnie od typu kabla możliwe są krótsze segmenty jako maksymalne	Proste i tanie podłączenie.
Optyczne	SCRJ 45 ISO/IEC 61754-24	100Base-FX Światłowód POF (ang. *Polimer Optical Fiber*) 980/1000μm (średnica rdzenia/średnica zewnętrzna) ISO/IEC 60793-2	100 Mb/s full-duplex	50m	Stosowane gdy występują duże różnice potencjałów. Niewrażliwe na zakłócenia elektromagnetyczne. Niska tłumienność linii. Większe zabezpieczeni przed podsłuchem.
		Światłowód szklany z płaszczem plastikowym PCF (ang. *Polimer Cladded Fiber*) 200/230μm (średnica rdzenia/średnica zewnętrzna) ISO/IEC 60793-2	100 Mb/s full-duplex	100m	
	BFOC (ang. *Bayonet Fiber Optic Connector*) i SC (ang. *Subscriber Connector*) ISO/IEC 60874	Światłowód szklany jednomodowy 10/125μm (średnica rdzenia/średnica zewnętrzna) ISO/IEC 60793-2	100Mb/s full-duplex	26km	
		Światłowód szklany wielomodowy 50/125μm i 62.5/125μm (średnica rdzenia/średnica zewnętrzna) ISO/IEC 9314-4	100Mb/s full-duplex	3km	
Fale radiowe	-	IEEE 802.11	54Mb/s half-duplex w paśmie 2.4GHz (IEEE 802.11 g) 54Mb/s half-duplex w paśmie 5GHz (IEEE 802.11 h) 24Mb/s	100m	Większa mobilność. Ekonomiczne podłączenie do odległych, trudno dostępnych węzłów.

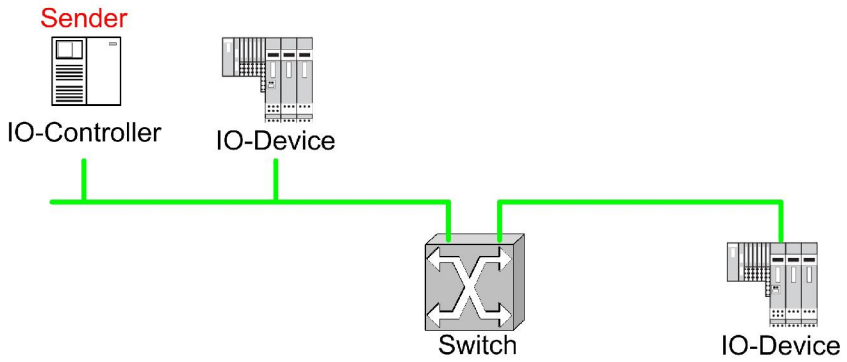
			HALF-DUPLEX (IEEE 802.11 A) DYNAMICZNA ADAPTACJA DO 9, 12, 16,18, 24, 36, 48 MB/S		

3.10. Topologia sieci PROFINET IO

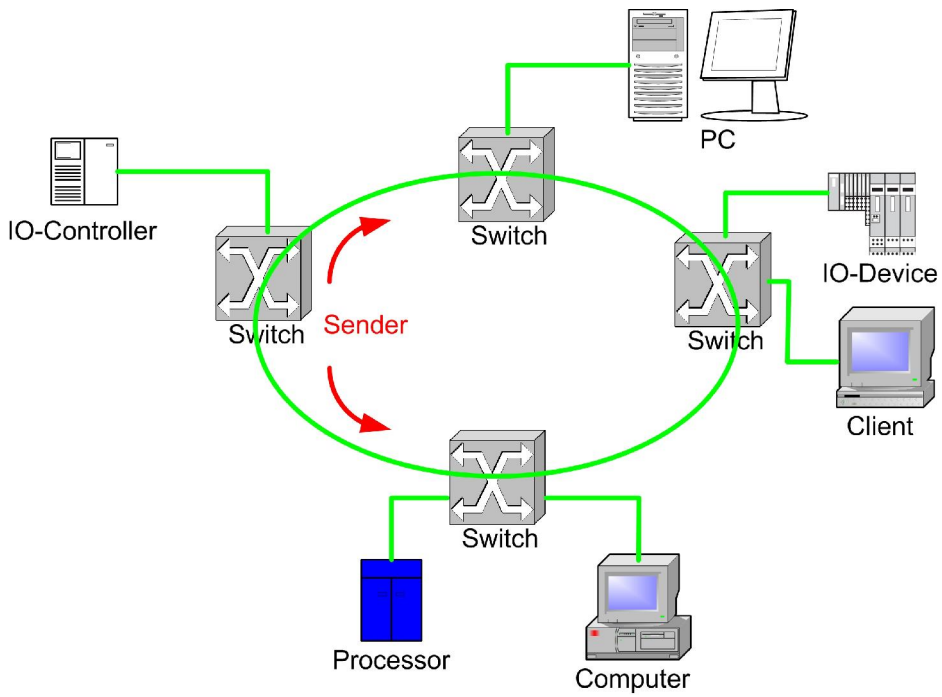
Topologie sieci PROFINET IO są zoptymalizowane pod wymagania danych aplikacji. Najczęściej wykorzystywanymi topologiami są:

- topologia liniowa (ang. *line/bus topology*) – odpowiada typowej magistrali procesowej i wykorzystywana jest w systemach o dużym rozproszeniu urządzeń,
- topologia pierścieniowa (ang. *ring topology*) – stosowana w systemach o dużej wymaganej dostępności urządzeń, jest bardziej odporna na uszkodzenia linii i komponentów sieciowych,
- topologia gwiazdy (ang. *star topology*) – stosowana w systemach o dużym zagęszczeniu urządzeń sieciowych i małym rozproszeniu, np. do sterowania pojedynczymi i niezależnymi maszynami. Charakteryzuje się wykorzystaniem centralnego urządzenia typu przełącznik do dystrybucji sygnału do wszystkich terminali sieciowych. Dużą zaletą topologii typu gwiazda jest swoboda podczas dołączania/odłączania urządzeń sieciowych oraz proste monitorowanie i diagnostyka sieci,
- topologia drzewa (ang. *tree topology*) – powstaje przez połączenie kilku topologii typu gwiazda. Często są to sieci mieszane tzn. wykorzystujące przewód miedziany i światłowód. Pozwala na podział złożonych systemów na autonomiczne sekcje. Z uwagi na zamykanie ruchu przez lokalnego dystrybutora , sieć o topologii drzewa ma dużą wydajność/przepustowość i bezpieczeństwo. Stosowana najczęściej w złożonych/specjalistycznych systemach sterowania.

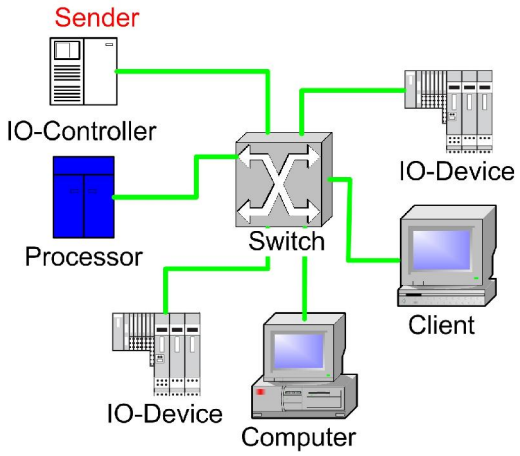
Kolejne topologie sieciowe zostały zilustrowane na rysunkach 3.13÷3.16.



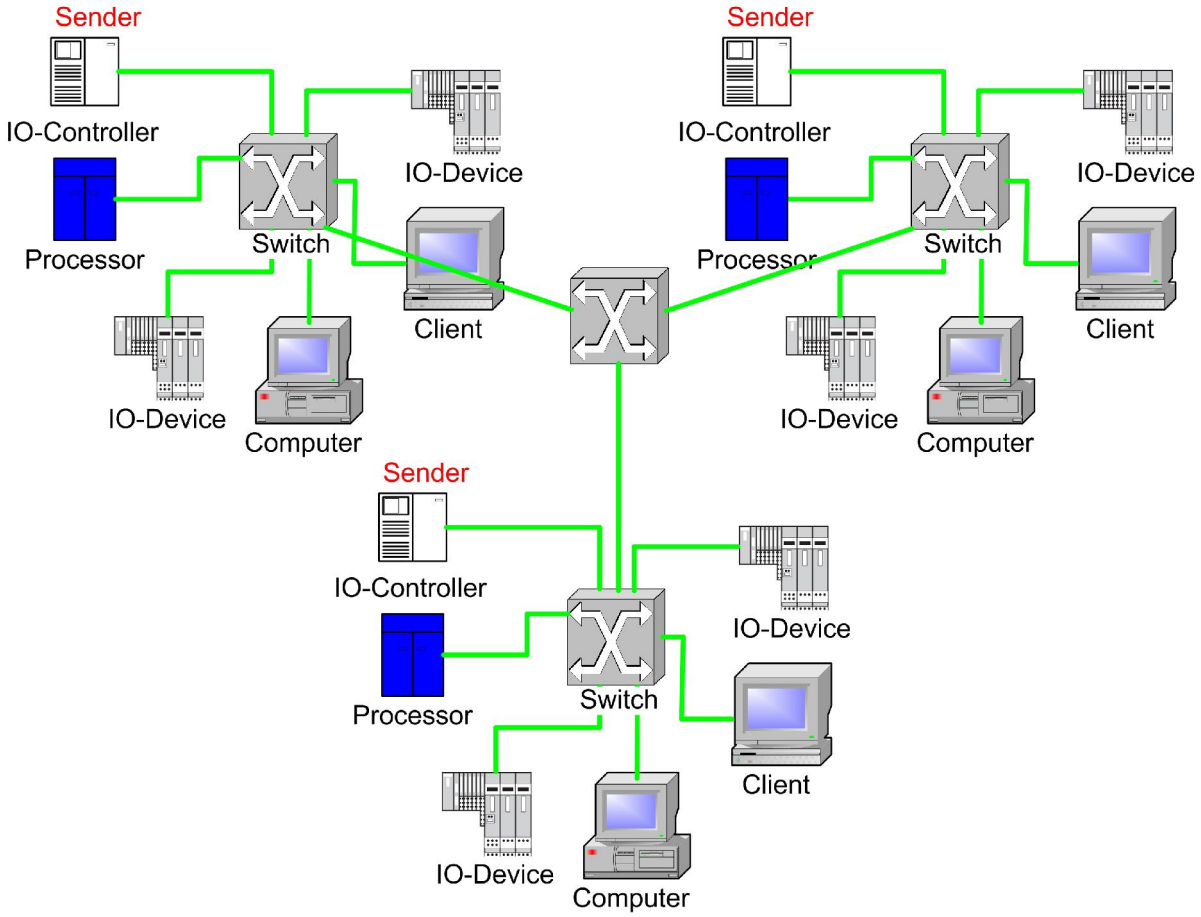
Rys. 3.13. Topologia liniowa



Rys. 3.14. Topologia pierścieniowa



Rys. 3.15. Topologia gwiazdy



Rys. 3.16. Topologia drzewa

3.11. Redundancja i hierarchiczność systemu sieciowego

Redundancja jest tutaj rozumiana jako nadmiarowość w celu zrealizowania pożądanego zabezpieczenia systemu na wypadek uszkodzenia jego części. W celu zmniejszenia prawdopodobieństwa zatrzymania pracy systemu stosuje się zdublowanie krytycznych jego elementów. Redundancja jest kosztowna, dlatego stosuje się ją tylko wtedy, gdy dany system sterowania musi być niezawodny i działać poprawnie za wszelką cenę. Na przykład redundancję stosuje się w systemach sterownia, w których w przypadku awarii zagrożone jest życie ludzi lub skutki awarii mogłyby być katastrofalne np. przemysł chemiczny, petrochemiczny, elektrownie atomowe, itd. Redundancję stosuje się także w systemach sterownia, gdzie w przypadku awarii dostęp serwisu jest bardzo trudny, np. latarnie morskie. Redundancja zwiększa niezawodność systemu sterowania w procesach automatyzacji kosztem nadmiarowości urządzeń i infrastruktury. Właściwa redundancja systemu powinna być zapewniona na 3 głównych poziomach:

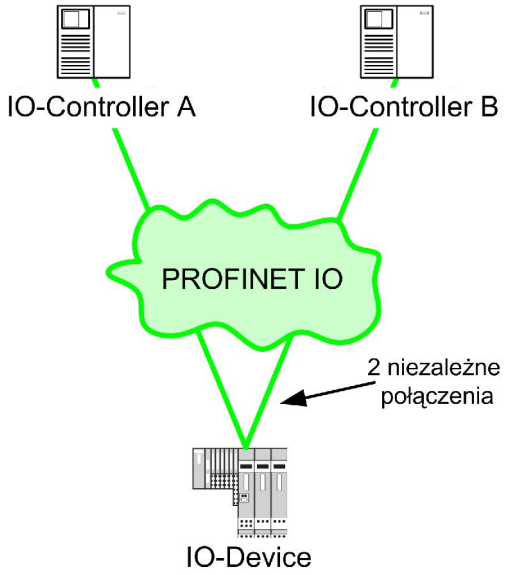
- poziom pierwszy – urządzenia sterujące typu IO-Controller,
- poziom drugi – połączenia komunikacyjne (sieciowe),
- poziom trzeci – wejścia i wyjścia systemu.

Ze względu na poszczególne komponenty infrastruktury sieciowej redundancja systemu PROFINET IO może dotyczyć:

- powiązań pomiędzy aplikacjami (AR),
- hostów typu IO-Controller,
- sieci,
- punktów dostępu NAP (ang. *Network Access Point*),

- wejść/wyjść systemu,
- warstw typu SRL (ang. *System Redundancy Layer*).

Przykładowa redundancja IO-Controller, w której urządzenie IO-Device wykorzystuje dwa niezależne połączenia przedstawiono na rysunku 3.17.



Rys. 3.17. Redundancja na poziomie IO-Controller

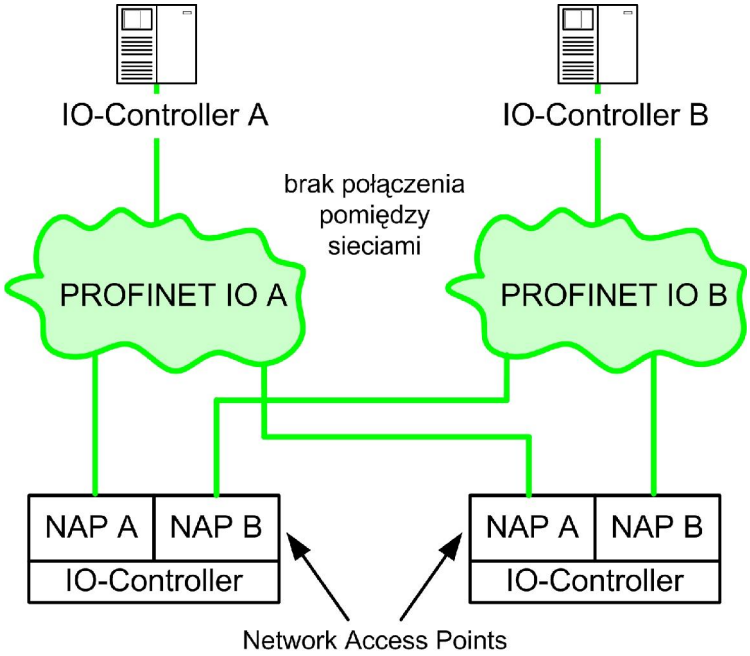
Budowanie sieciowych połączeń redundantnych wymaga zastosowania odpowiednich przełączników sieciowych. System jest wtedy ograniczony do topologia sieci określonej przez protokół wykorzystywany przez przełączniki do programowej dezaktywacji/aktywacji nadmiarowych połączeń. Dostępne są dwa rozwiązania:

- topologia pierścieniowa – w tym przypadku przełączniki za pomocą protokołu MRP (ang. *Media Redundancy Protocol*) wykorzystują mechanizm menadżera redundancji do dezaktywacji/aktywacji nadmiarowych połączeń,
- dowolna topologia sieci – wtedy przełączniki wykorzystują protokół STP/RSTP (ang. *Spanning Tree Protocol / Rapid Spanning Tree Protocol*) do zarządzania połączeniami nadmiarowymi.

Redundancja może być hybrydowa, np. kombinacja redundancji urządzeń typu IO-Controller. Dodatkowo wyróżnia się różne poziomy redundancji np. dla połączeń urządzeń są to kolejno:

- pojedynczy punktu dostępu połączony z jednym IO-Controller,
- pojedynczy punktu dostępu połączony z redundantnym IO-Controller,
- redundantny punktu dostępu połączony z jednym IO-Controller,
- redundantny punktu dostępu połączony z redundantnym IO-Controller,

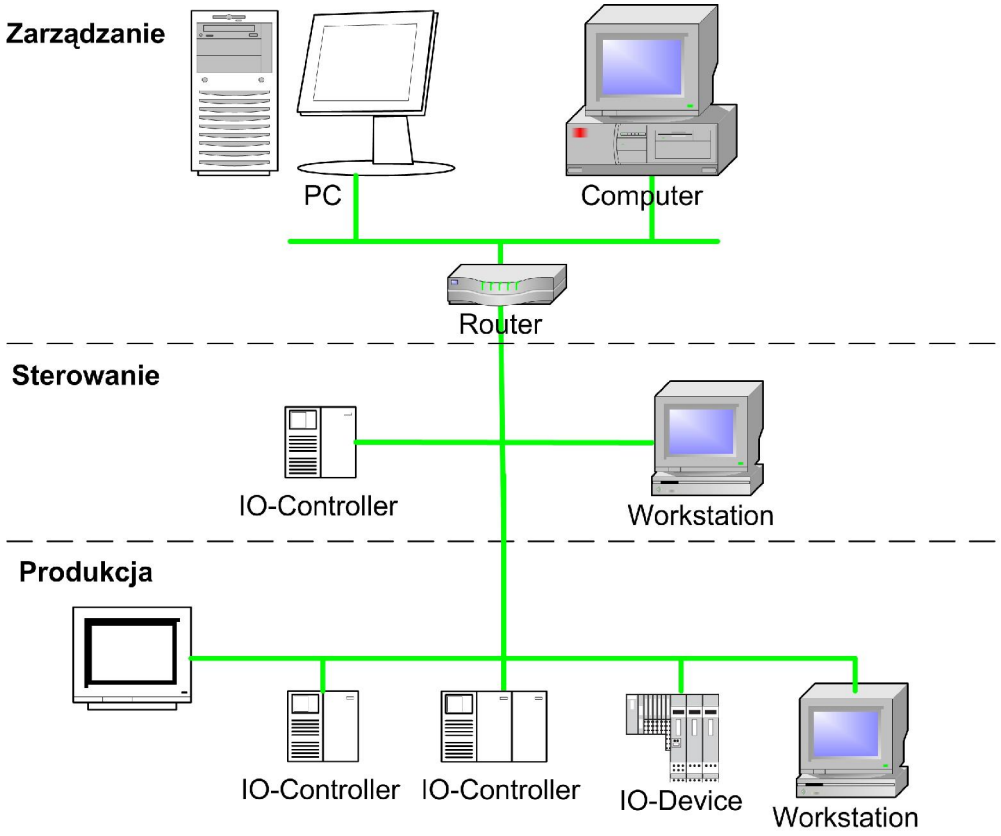
Przykładowa redundancja IO-Controller, sieci oraz punktów dostępu do sieci została przedstawiona na rysunku 3.18.



Rys. 3.18. Redundancja wielopoziomowa

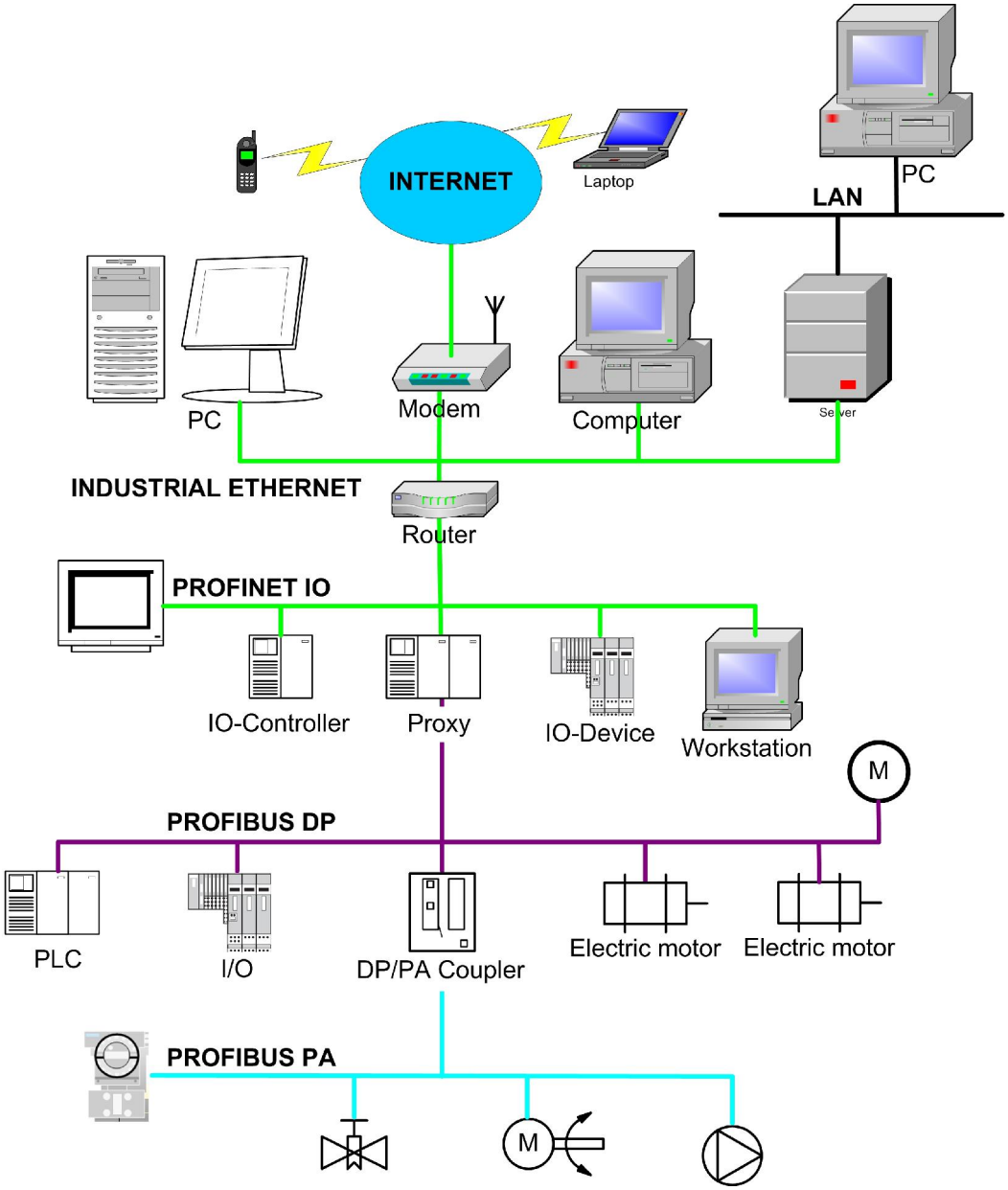
Hierarchiczność w systemie sieciowym pozwala na jego zoptymalizowanie pod względem wydajności i funkcjonalności. Hierarchiczność rozumiana w tym przypadku jest powiązana z optymalizacją topologii sieci, czyli także z jej redundancją. Dzięki otwartości systemu PROFINET IO w łatwy sposób można zrealizować jeden wielopoziomowy/wielowarstwowy model planowania/zarządzania, wymiany danych procesowych oraz sterowania wykonawczymi urządzeniami procesowymi. Sieć wielopoziomowa pozwala na swobodny dostęp z wyżej warstwy do niższej tzw. TDA (ang. *Transparent Data Access*). TDA oznacza dostęp do danych procesowych z różnych poziomów sieci. Wykorzystanie przemysłowej sieci Ethernet pozwala na użycie mechanizmów komunikacji/technologii, takich jak: OPC, XML, COM/DCOM i protokołów: UDP/TCP/IP. Dzięki temu dane procesowe niższego poziomu sieci – tzw. poziomu produkcji – są bezpośrednio dostępne dla najwyższego poziomu sieci – tzw. poziomu zarządzania firmą.

Sposób dostępu do danych procesowych w poszczególnych poziomach sieci został przedstawiony na rysunku 3.19.



Rys. 3.19. Sieć wielopoziomowa

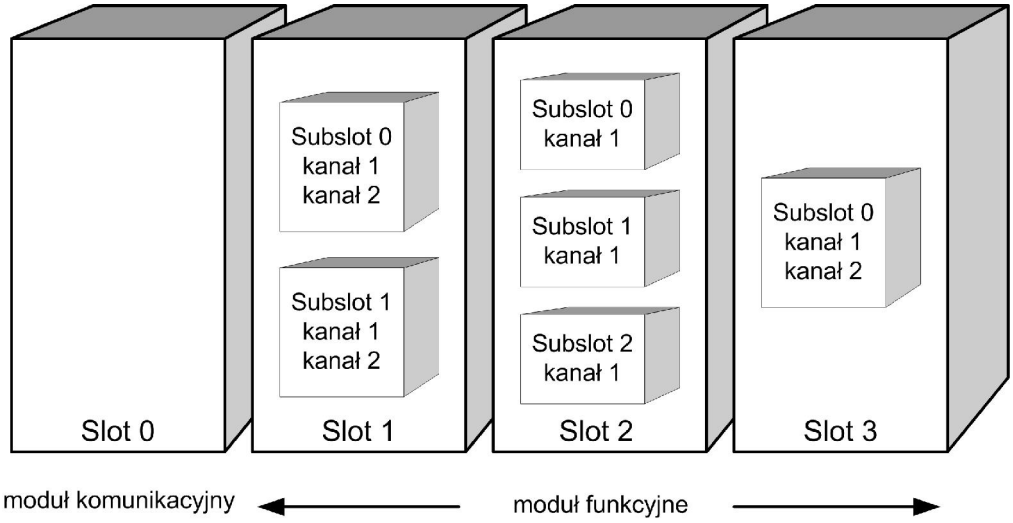
Kompatybilność i otwartość systemów sieciowych typu PROFIxxxx w systemach automatyki pozwala na szeroką rozbudowę systemu sterowania o inne interfejsy sieciowe. Jest to możliwe na wszystkich poziomach sieci. Dzięki temu informacje z poziomu niższego mogą być przekazywane i wykorzystywane przez system sterowania wyższego poziomu. Połączenie sieci PROFINET IO z innymi sieciami zostało przedstawione na rysunku 3.20.



Rys. 3.20. Połączenie sieci PROFINET IO z systemami na poszczególnych poziomach sieciowych

3.12. Model urządzenia sieci PROFINET IO

Model urządzenia w sieci PROFINET IO z punktu widzenia warstwy aplikacyjnej modelu OSI składa się z interfejsu sieciowego (PROFINET IO), interfejsu procesowego (moduły we/wy), slotów odpowiadających fizyczny modułom, subslotów i kanałów. Każdy slot jest podzielony na subsloty, które stanowią dodatkowy poziom adresacji. Subsloty są podzielone na kanały, które są najmniejszą jednostką adresaci (rysunek 3.21).



Rys. 3.21. Model urządzenia w sieci PROFINET IO [4, 19]

3.13. Protokoły wykorzystywane w PROFINET IO

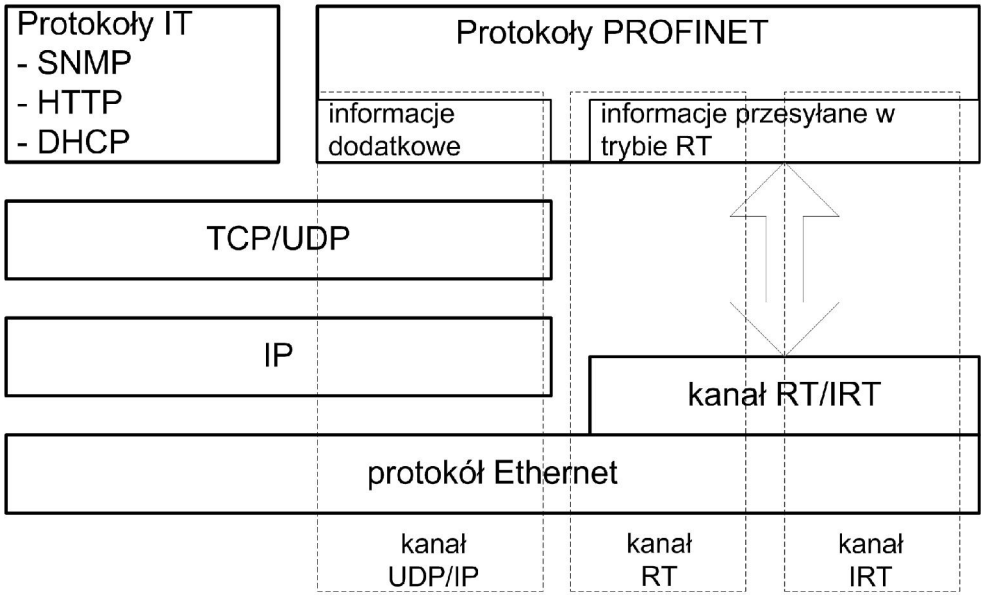
PROFINET IO wykorzystuje szereg protokołów, z których najważniejsze zostały scharakteryzowane poniżej:

- DHCP (ang. *Dynamic Host Configuration Protocol*) dla przypisywania adresów IP,
- DNS (ang. *Domain Name Service*) do zamiany adresu IP na nazwę stacji,
- SNMP (ang. *Simple Network Management Protocol*) dla odczytu statusu stacji i danych statystycznych,
- ARP (ang. *Address Resolution Protocol*) dla konwersji adresów IP na adresy Ethernet,
- ICMP (ang. *Internet Control Message Protocol*) używany do przesyłania informacji o błędach.

PROFINET umożliwia komunikację za pomocą trzech podstawowych kanałów: TCP/UDP, RT oraz IRT:

- kanał TCP/UDP jest nie deterministyczny, w którym dane są przesyłane w sposób nie krytyczny czasowo, np. nawiązywanie połączeń, parametryzacja stacji IO-Device. Kanał TCP/UDP w warstwie fizycznej wykorzystuje protokół UDP, a TCP jest wykorzystywany przez wbudowany serwer WWW,
- kanał RT służy do:
    - cyklicznej wymiany danych procesowych,
    - monitorowania komunikacji,
    - przesyłania alarmów,
    - wymiany danych w trybie *provider-consumer*,
    - przypisywania nazw i adresów stacji (protokół DCP),
- kanał IRT służy do:
    - deterministycznej, krytycznej czasów wymiany danych w czasie rzeczywistym z synchronizacją czasu wykorzystującej wsparcie sprzętowe,
    - synchronicznej wymiany danych procesowych z odchyłką $<1\mu s$,
    - do wymiany danych s synchronizacją cyklu sieci,
    - dokładnego/stałego cyklu przekazywania danych procesowych np. sterowanie napędami, sterowanie ruchem (ang. *motion control*),
    - pracy z wykorzystaniem makrocykli.

Stos komunikacyjny PROFINET IO został przedstawiony na rysunku 3.22.



Rys. 3.22. Stos komunikacyjny [4, 6]

3.14. Opis urządzenia – GSDML

Opis funkcjonalności urządzeń w sieci PROFINET IO jest zapisywany w plikach GSDML (ang. *Generic Station Description Markup Language*). Plik GSDML jest przyporządkowany do danego urządzenia i dostarczany przez producenta. Plik GSDML można odczytać dowolnym programem interpretującym język XML. Podstawowe cechy pliku GSDML:

- pisany w języku XML,
- definiuje nazwę urządzenia, identyfikator (32 bitowy), nazwę producenta,
- określa liczbę interfejsów,
- definiuje listę modułów/slotów,
- definiuje parametry i możliwości poszczególnych modułów/slotów,
- opisuje kody błędów zwracanych przez urządzenie.

Każde urządzenie PROFINET IO-Device jest identyfikowane przez producenta i organizację PI (ang. *PROFIBUS & PROFINET International*). Numer/identyfikator o długości 4 bajtów składa się z identyfikatora o długości 2 bajtów nadawanego przez PI oraz kodu o długości 2 bajtów nadawanego przez producenta. W oprogramowaniu służącym do konfiguracji sieci pliki GSDML danych urządzeń muszą być importowane do biblioteki urządzeń polowych środowiska (ang. *field devices*).

3.15. Cykl sieci PROFINET IO

System PROFINET IO daje możliwość zdefiniowania indywidualnej wartości cyklu odświeżania informacji pomiędzy jednostką IO-Controller, a IO-Device. Minimalny czas cyklu sieci zależy od możliwości danego urządzenia. Cykl wysyłania (ang. *send clock*) w kanale RT jest zależny od współczynnika wysyłania *n* i podstawowej jednostki czasu, która dla PROFINET IO wynosi 31.25μs. Zatem cykl sieci jest obliczany następująco:

$$cykl\ sieci = 31.25 \cdot n\ [\mu s] \tag{3.1}$$

Cykl przesyłania kontrolowany jest przez *Consumera*. Czas monitorowania komunikacji tzw. *watchdog time* jest wielokrotnością cyklu wysyłania. Maksymalna wartość czasu monitorowania wynosi 1.92s. Watchdog definiuje ilość pakietów jaka może być zgubiona podczas transmisji.

3.16. Komunikacja acykliczna

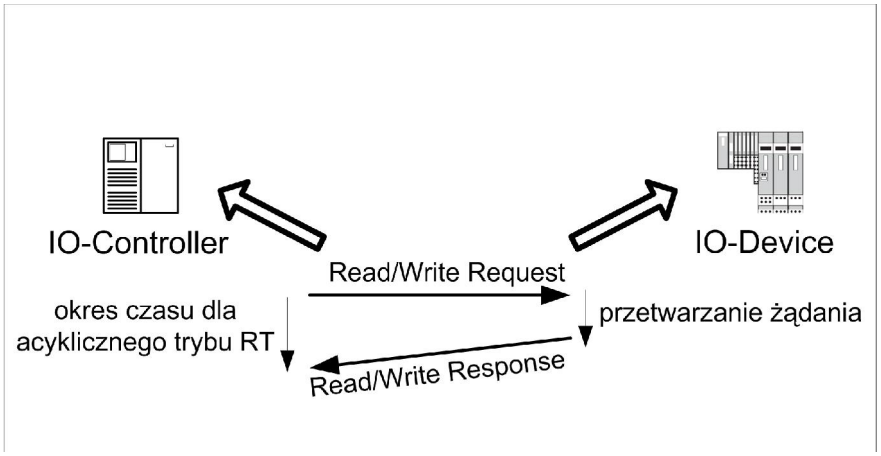
Do przesyłania danych w trybie acyklicznym wykorzystywany jest protokół RTA (ang. *Real Time Acyclic*). Dane przesyłane acyklicznie w sieci PROFINET IO są przekazywane kanałem nie-RT. Żądanie/zgłaszanie danych jest przez aplikację pracującą po stronie IO-Controller. Dane są przesyłane kanałem Record Data CR i kanałem Alarm CR.
Do podstawowych danych przesyłanych acyklicznie w sieci PROFINET IO kanałem Record Data CR zaliczamy:

- dane nie krytyczne czasowo,
- dane parametryzacji stacji IO-Device,
- konfiguracja urządzenia IO-Device,
- dane diagnostyczne.

Podstawowe cechy kanału Record Data CR to:

- połączeniowy sposób przekazywania danych,
- odbiór danych jest potwierdzany,
- sekwencja ramek danych jest kontrolowana na podstawie licznika cykli,
- wymiana informacji opiera się na zasadzie klient-serwer.

Sposób wymiany danych w sieci PROFINET IO w trybie acyklicznym został przedstawiony na rysunku 3.23.

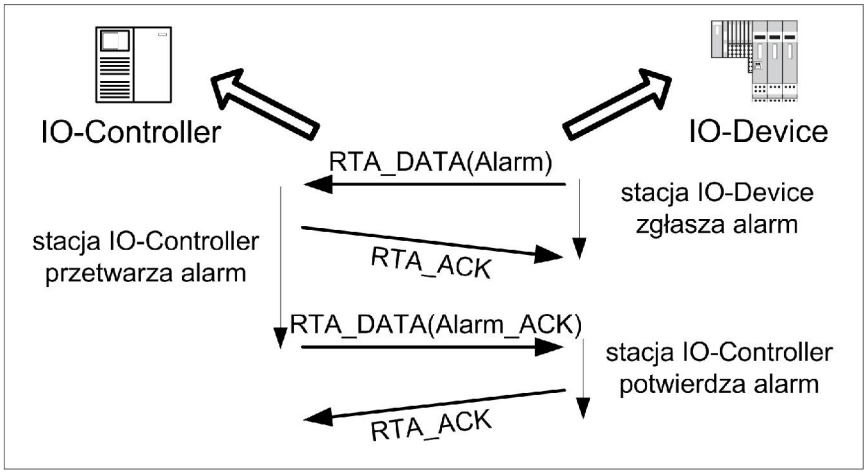


Rys. 3.23. Acykliczna wymian danych, kanał Record Data [4, 24]

Do podstawowych danych przesyłanych acyklicznie w sieci PROFINET IO kanałem Alarm CR zaliczamy:

- dane przekazywane acyklicznie kiedy są dostępne,
- dane o alarmach są kolejkowane,
- alarmy są potwierdzane,
- sekwencja ramek danych jest kontrolowana przez licznik cykli,
- alarmy mogą być systemowe lub definiowane przez użytkownika,
- ramki danych z alarmami zwierają informację o priorytecie.

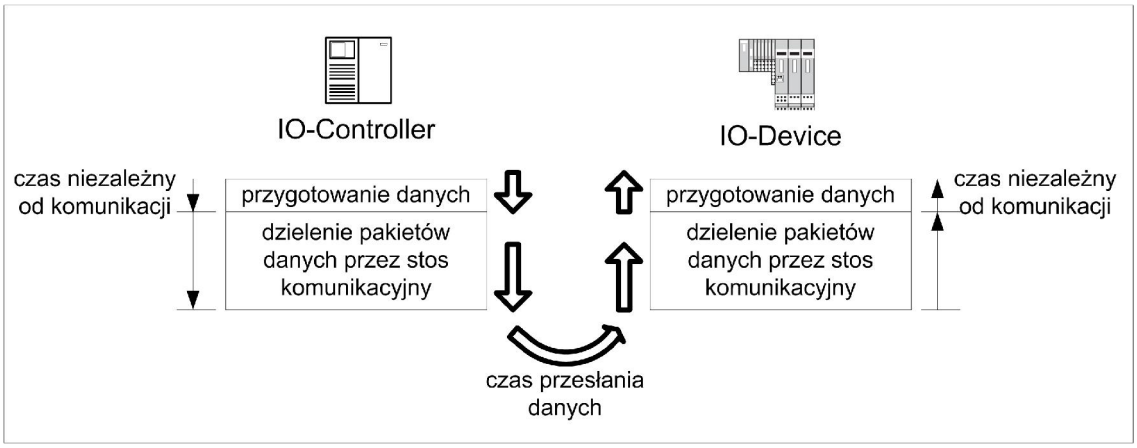
Sposób wymiany danych w sieci PROFINET IO w trybie acyklicznym został przedstawiony na rysunku 3.24.



Rys. 3.24. Acykliczna wymiana danych, kanał Alarm [4, 23]

3.17. Komunikacja czasu rzeczywistego

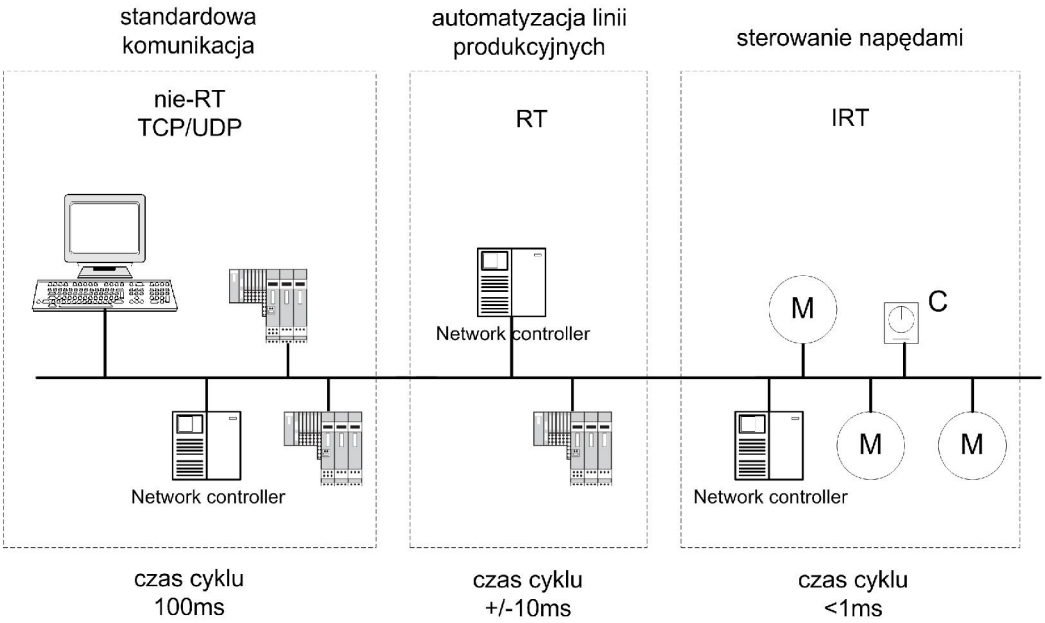
Komunikacja w czasie rzeczywistym oznacza wymianę danych krytycznych czasowo. Dane krytyczne czasowo to takie, które są dostarczane w zdeterminowanych przedziałach czasowych. Wiąże się to z dużą prędkością przesyłania danych, a tym samym dużą wydajnością interfejsu komunikacyjnego. Czasy odświeżania informacji (cyklu sieci) mogą tutaj wynosić dużo poniżej 1ms. W celu spełnienia narzuconych wymagań czasowych odnośnie przesyłania danych, PROFINET IO wykorzystuje oddzielny kanał komunikacyjny tzn. RT (ang. *Real Time*). Zrezygnowano tutaj z mniej wydajnego protokołu TCP/IP, w którym proces przygotowywania danych do wysyłania i analizy odebranych danych wydłużał czas uaktualniania/odświeżania informacji (czas cyklu sieci). Protokół TCP/IP potrafi dzielić duże pakiety danych na paczki gotowe do przesłania (buforowanie), a następnie scalać odebrane paczki w jedne pakiet po stronie odbiorcy. Możliwość ta nie jest potrzebna w przypadku komunikacji w trybie RT, gdzie ramka danych ma minimalną długość. Kanał RT jest zoptymalizowany czasowo w stosunku do kanału TCP/IP dzięki temu, że zrezygnowano tutaj z procesu obróbki danych wykonywanej przez stos komunikacyjny (rysunek 3.25).



Rys. 3.25. Optymalizacja komunikacji dla trybu RT [4, 23]

PROFINET IO wyróżnia 2 klasy komunikacji w czasie rzeczywistym o różnych możliwościach w zakresie wydajności (rysunek 3.26), są to:

- tryb RT (ang. *RealTime*):
  - bazuje na standardowych komponentach sieci Ethernet,
  - wydajność porównywalna z magistralą przemysłową PROFIBUS, czas uaktualniania informacji około 1ms,
  - zastosowanie to najczęściej automatyzacja linii produkcyjnych,
- tryb IRT (ang. *Isochronous Real Time*):
  - komunikacja synchronizowana według zegara,
  - wsparcie sprzętowe urządzenia (zaimplementowany kanał IRT),
  - cykl odświeżania poniżej 1ms,
  - zastosowanie do sterowania napędami i ruchem.



Rys. 3.26. Tryby pracy urządzeń w sieci PROFNET IO [29]

3.17.1. Komunikacja czasu rzeczywistego w PROFINET IO

W trybie sterowania RT, prowadzona jest komunikacja pomiędzy systemem sterowania a peryferiami. Cykl sieci wynosi od kilku do 10ms. Rozwiązanie RT jest kompatybilne z protokołem TCP/IP i można je zaimplementować w oparciu o standardowy interfejs Ethernet (zgodny z IEEE 802.3). W trybie RT minimalizacja opóźnień transmisji jest uzyskiwana dzięki priorytetyzacji ramek.

Ramka danych w trybie RT:

DA	SA	VLAN-TAG	E TYPE	DANE					FCS
ADRES ODBIORCY (6 BAJTÓW)	ADRES NADAWCY (6 BAJTÓW)	IDENTYFIKACJA VLAN, PRIORYTET (4 BAJTY)	ETHER TYPE (2 BAJTY)	FRAMEID (2 BAJTY)	DANE PROCESOWE (40-1440 BAJTÓW)	CYCLE COUNTER (2 BAJTY)	DATA STATUS (1 BAJT)	TRANSFER STATUS (1 BAJT)	KOD NADMIAROWY (4 BAJTY)
				IDENTYFIKATOR RODZAJU RAMKI (RT/IRT/DCP/ALARM)		LICZNIK CYKLU WIELOKROTNOŚĆ 31.25µs, POZWALA NA WYKRYCIE	STATUS DANYCH	STATUS TRANSFERU	

						ZGUBIONYCH LUB ZDUBLOWANYCH RAMEK			

Wartość pola VLAN-tag, priorytetyzacja ramki RT:

VLAN-TAG			
TPID	TCI		
8100_{HEX}	PRIORYTET	0	VLAN ID

Wartość pola FrameID, identyfikacja ramki RT:

OD	DO	OPIS
0000	007F	ACYKLICZNA SYNCHRONIZACJA CZASU
0080	00FF	CYKLICZNA SYNCHRONIZACJA CZASU
0100	7FFF	CYKLICZNE RAMKI RT CLASS 3 UNICAST ORAZ MULTICAST
8000	BBFF	CYKLICZNE RAMKI RT CLASS 2 UNICAST
BC00	BFFF	CYKLICZNE RMAKI RT CLASS 2 MULTICAST
C000	F7FF	CYKLICZNE RAMKI RT CLASS 1 I RT CLASS_UDP UNICAST
F800	FBFF	CYKLICZNE RAMKI RT CLASS 1 I RT CLASS_UDP MULTICAST
FC00		REZERWA
FC01		PROFINET IO ALARM HIGH
FC02	FDFF	REZERWA
FE00		REZERWA
FE01		PROFINET IO ALARM LOW
FE02	FEFC	REZERWA
FEFC	FEFF	DCP
FF00	FF5F	SYNCHRONIZACJA CZASU
FF60		REDUNDANCJA
FF61	FFFF	REZERWA

Ramki w trybie IRT są zbudowane podobnie do ramek RT, z tym że nie mają znacznika VLAN.
Najważniejsze cechy ramek RT i IRT są następujące:

- rzeczywista długość ramki RT/IRT jest powiększona o czas IFG (ang. *Inter Frame Gap*), który jest wymagany do przygotowania urządzenia na odbiór następnej ramki,
- minimalna długość ramki RT wynosi: nagłówek (7B)+SFD (1B)+DA (6B)+SA (6B)+VLAN (4B)+eType (2B)+FrameID (2B)+Dane (40B)+Cycle_counter (2B)+Data_status (1B) + Transfer_status (1B)+FCS (4B) + IFG (12B) = 88 bajtów,
- minimalna długość ramki IRT wynosi: nagłówek (7B)+SFD (1B)+DA (6B)+SA (6B)+eType (2B)+FrameID (2B)+Dane (40B)+Cycle_counter (2B)+Data_status (1B) + Transfer_status (1B)+FCS (4B) + IFG (12B) = 84 bajtów,
- ramki RT opcjonalnie mogą zawierać kodowaną informację o priorytecie - znacznik VLAN,
- w odróżnieniu od ramek przenoszące dane poprzez TCP/IP oraz DCP, które mają priorytet 0, ramki danych przekazywane w trybie RT i IRT posiadają priorytet 5 oraz 6,
- czas wysłania ramki o minimalnej długości równej 84 bajtów wynosi: 84 * 8 bitów *t_{bit} (1/100μs) = 6.72μs.

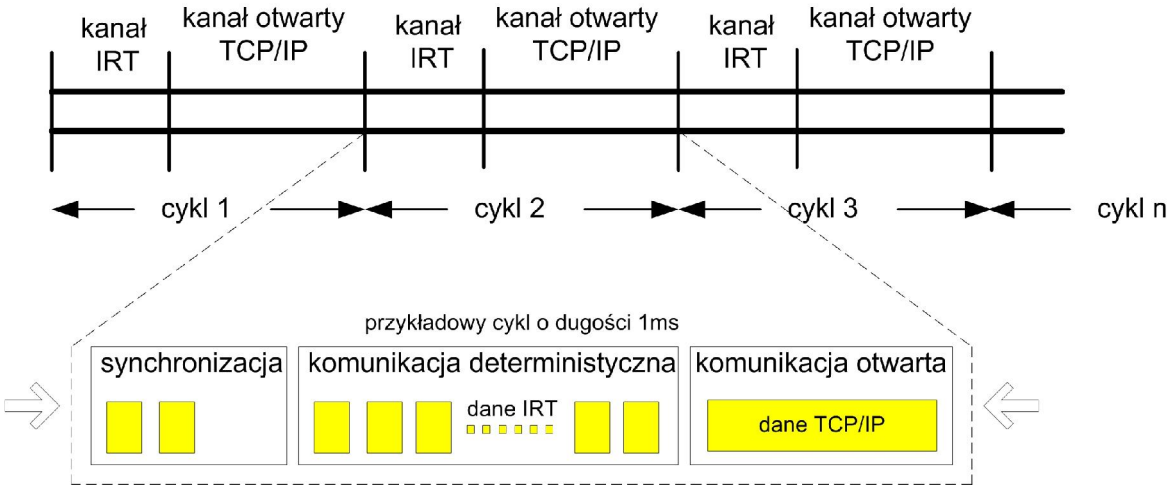
3.17.2. Tryb IRT

Tryb izochroniczny IRT (ang. *Isochronous Real Time*) jest stosowany w aplikacjach z synchronizacją okresu czasu przesyłania danych [4, 6]. W trybie IRT czasu cyklu sieci jest dużo poniżej 1ms. Do tego typu aplikacji głównie zalicza się napędy/sterowanie ruchem (ang. *motion control*). Główne cechy trybu IRT to:

- zdeterminowane przesyłanie danych w czasie rzeczywistym,
- rezerwacja pasma/zasobów,
- czas odświeżania informacji <1ms,
- nierównomierność czasu cyklu <1μs,
- synchronizacja czasu,
- wymiana danych według określonego planu, ramka IRT nie wymaga znacznika VLAN,
- segmentacja – wykorzystanie w ramach jednego segmentu sieci,
- wymaga odpowiednich urządzeń w infrastrukturze sieci i interfejsie stacji,
- brak buforowania, zestawienie połączeń w sieci można wykonać poprzez switch obsługujący IRT.

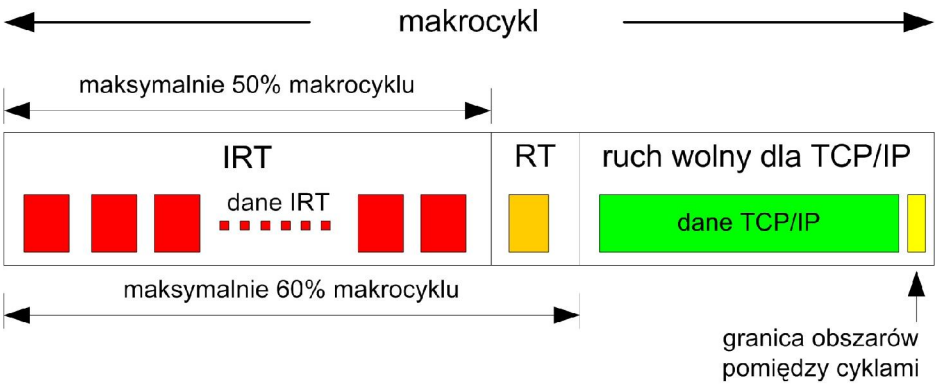
Planowanie zadań komunikacyjnych (rysunek 3.27) w trybie IRT polega na:

- dokładnej synchronizacji,
- wydzieleniu oddzielnych przedziałów czasowych dla ruchu RT (wysoki priorytet) oraz dla ruchu TCP/IP (niski priorytet),
- przydzieleniu procentowego udziału czasu cyklu na realizację komunikacji RT w klasach kolejno: RTC1 (RT), RTC2 (IRT typu high flexibilty) i RTC3 (IRT typu high performance),
- czas sieci przydzielony dla obsługi RT nie może przekraczać 50% długości cyklu sieci.



Rys. 3.27. Przebieg czasowy komunikacji z IRT [19]

Podczas konfiguracji systemu PROFINET IO do pracy w trybie IRT, użytkownik planuje długość cyklu sieci, a następnie procentowy udział cyklu dla trybu IRT. W czasie trwania czasu realizacji trybu IRT przesyłane są dane procesowe z najwyższym priorytetem, po upływie tego czasu przesyłane są dane w trybie RT i dalej dane ogólne w trybie TCP/IP o najniższym priorytecie. Maksymalny udział trybu RT (w tym IRT) w całym czasie cyklu sieci (makrocyklu) nie może przekraczać 60%. Pozostałe 40% jest przeznaczone na swobodny ruch TCP/IP. Cykl sieci jest oddzielony od kolejnego poprzez krótki okres czasu przeznaczony na obszar graniczny zwany przełącznikiem. W obszarze granicznym nie są wykonywane żadne zadania, których realizacja mogłaby naruszyć granicę obszarów. Przykładowy cykl sieci dla trybu IRT, RT i TCP/IP został przedstawiony na rysunku 3.28.

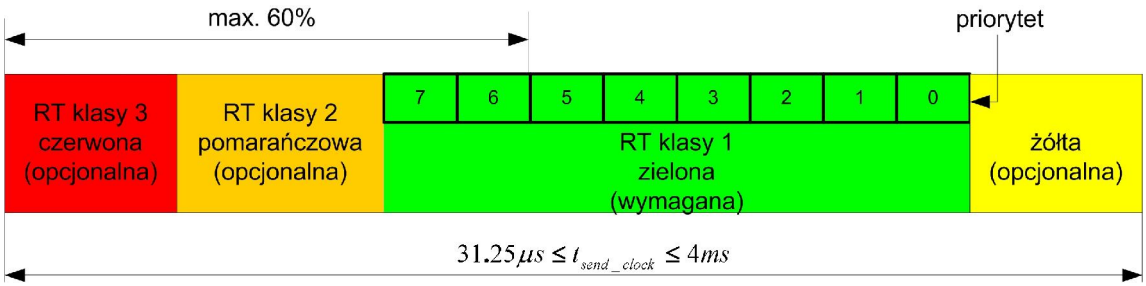


Rys. 3.28. Cykl sieci PROFINET IO czasu rzeczywistego [19]

3.17.3. Klasy komunikacji w trybie RT

Specyfikacja PROFINET IO wyróżnia 3 klasy sterowania w czasie rzeczywistym (RT):
- klasa 1 – RT, przesyłanie danych w czasie rzeczywisty,
- klasa 2 – IRT high flexibilty, czas rzeczywisty z synchronizacją zegara,
- klasa 3 – IRT high performance, czas rzeczywisty optymalny z narzuconą topologią.

Port Ethernet realizuje transmisję zgodnie z priorytetami ramek (od najważniejszej do ramki o najniższym priorytecie), wyróżniamy przy tym 4 fazy (rysunek 3.29):
- czerwona – obsługiwany jest tylko ruch RT klasy 3,
- pomarańczowa – obsługiwany jest tylko ruch RT klasy 3 i RT klasy 2,
- zielona – obsługiwany jest ruch RT klasy 2 i RT klasy 1 oraz pozostały TCP/IP,
- żółta – przejściowa.



Rys. 3.29. Cykl pracy portu Ethernet [19]

Wymagania konfiguracyjne i parametryczne sieci PROFINET IO w trybie IRT high flexibilty są rozszerzone poza standardowe i wymagają dodatkowo:
- aktywowania trybu IRT w urządzeniach IO-Controller i IO-Device,
- zdefiniowania jednostki Sync Master i Sync Slave.

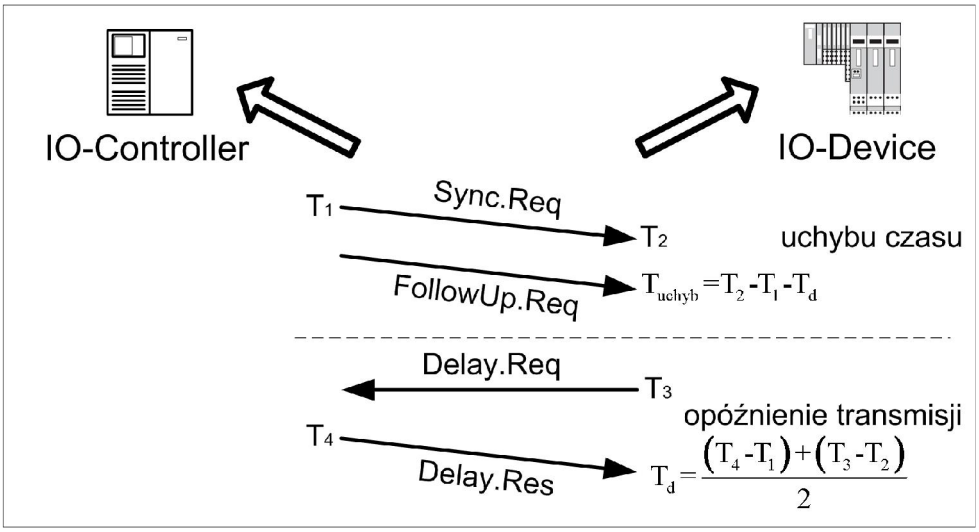
Natomiast tryb IRT high performance poza standardowymi krokami konfiguracji wymaga dodatkowo:
- zdefiniowania topologii sieci, co pozwala na zaplanowanie zadań kompilatora stacji IO-Controller określających jakie dane i w jakiej kolejności będą wysyłane do urządzeń IO-Device,
- aktywowania trybu IRT w urządzeniach IO-Controller i IO-Device,
- zdefiniowania jednostki Sync Master i Sync Slave.

3.17.4. Synchronizacja czas w trybie IRT

W systemach sterowania ruchem często poszczególne napędy maszyn są połączone mechanicznie. Sterowanie tymi napędami wymaga synchronizacji czasowej. Synchronizacja czasu w trybie IRT (według IEEE 1588-2002) jest realizowana poprzez protokół PTCP (ang. *Precision Transparent Clock Protocol*). Protokół PTCP jest wykorzystywany do synchronizacji zegara czasu w sieci. Główne cechy protokołu PTCP są następujące:

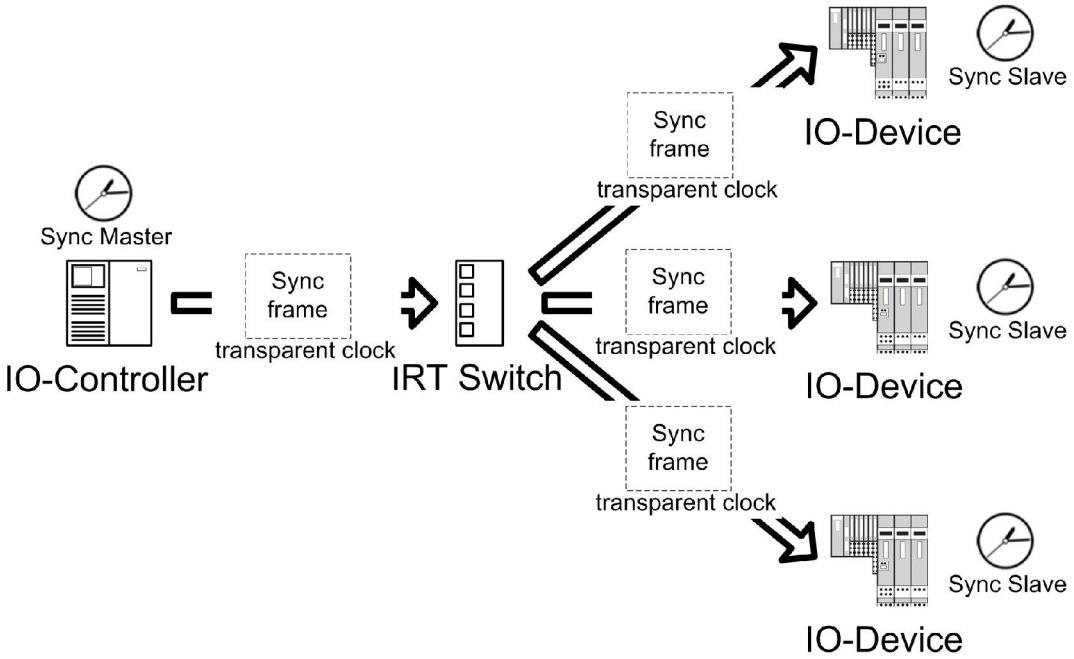
- PTCP pracuje w drugiej warstwie modelu sieciowego OSI,
- bazuje na serwerze czasu Sync Master względem którego są synchronizowane stacje Sync Slave,
- synchronizacja czasu z dokładnością do 100ns,
- kompensacja opóźnień urządzeń poprzez przesyłanie danych z stemplem/znacznikiem czasu (ang. *time stamp*),
- urządzenia obiektowe wymieniają dane procesowe wraz z znacznikiem czasu (przekazywanie ramki "Sync"),
- sieć działa w zaplanowany sposób,
- określona jest sekwencja występowania zdarzeń (ang. *sequence of events*),
- małe obciążenie hardware, ale wymaga wsparcia sprzętowego,
- minimalne wymagania konfiguracyjne,
- minimalne obciążenie sieci,
- możliwość pomiaru czasu propagacji sygnału w przewodzie komunikacyjnym.

Działanie protokołu PTCP w sieci PROFINET IO jest realizowane poprzez przesyłanie wartości zegara czasu funkcją Sync.Req z stacji IO-Controller do stacji IO-Device. Wartość ta jest korygowana o obliczony uchyb czasu związany z opóźnieniem transmisji. Działanie protokołu PTCP zostało przedstawione na rysunku 3.30.



Rys. 3.30. Protokół PTCP [23]

W przypadku przesyłania wartości zegara czasu do więcej niż jedna stacji, wykorzystywany jest IRT switch, który przekazuje wartość zegara czasu do wszystkich stacji. Wykorzystanie protokołu PTCP w sieci PROFINET IO z IRT switch zostało przedstawione na rysunku 3.31.

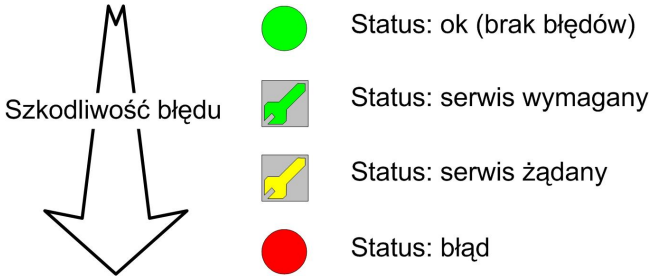


Rys. 3.31. Zastosowanie PTCP w sieci z IRT [23]

3.18. Diagnostyka sieci PROFINET IO

3.18.1. Wprowadzenie

Diagnostyka sieci PROFINET jest podobna do diagnostyki sieci PROFIBUS. Diagnostyka sieci PROFINET IO jest całkowicie zintegrowana, co oznacza, że każdy pojedynczy błąd którejś ze stacji w sieci jest przesyłany do sterownika IO-Controller. Oznacza to swobodny dostęp do informacji diagnostycznych poszczególnych urządzeń sieci z jednego punktu. Interfejsy sieci PROFINET (według specyfikacji V2.1) implementowane w urządzeniach sieciowym obsługują system czterostopniowej diagnostyki koncepcyjnej. Celem diagnostyki koncepcyjnej jest wczesna detekcja i eliminacja powstałych błędów zanim spowodują one uszkodzenia i przestój w pracy sieci. Klasyfikacja statusów diagnostycznych według koncepcji została przedstawiona na rysunku 3.32.

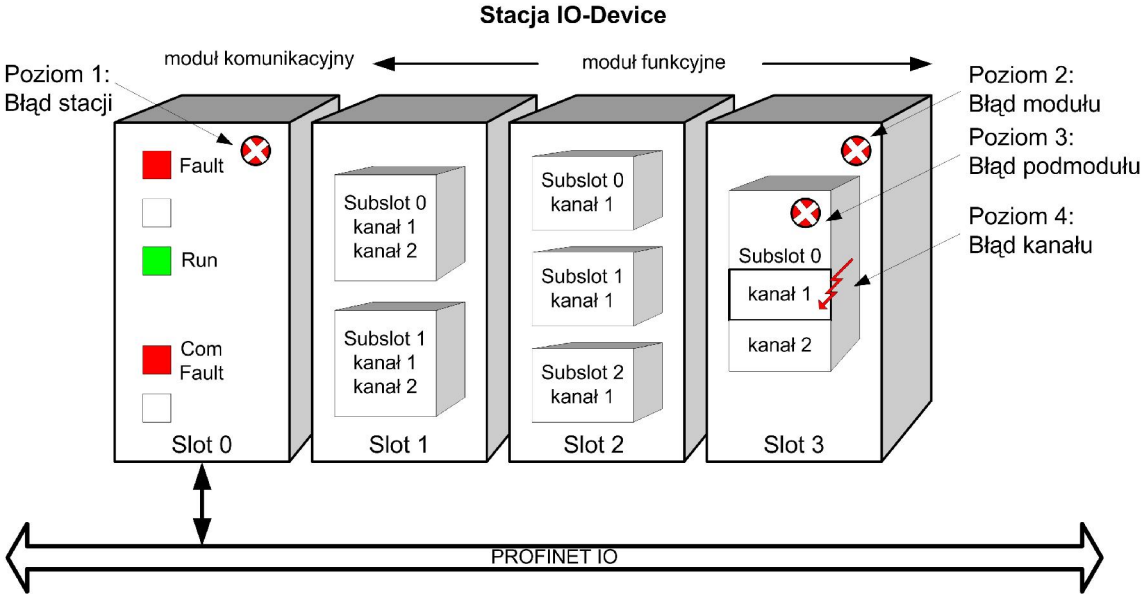


Rys. 3.32. Klasyfikacja statusów diagnostycznych [24, 25]

Ze względu na dostęp do informacji diagnostycznych, diagnostykę urządzeń w sieci PROFINET IO można podzielić na kilka poziomów:

- Poziom 1 – diagnostyka stacji – określa stan stacji sygnalizowany przez wskaźniki na samym urządzeniu. Najczęściej są to informacje zbyt ogólne aby zdiagnozować przyczynę problemu. Na tym poziomie sygnalizowane informacje diagnostyczne mogą dotyczyć samego interfejsu, takich jak tryb pracy, ilość odebranych/wysłanych danych, prędkość transmisji, stopa błędów, itp. Dostęp do stanów wskaźników stacji może być zdalny, jeżeli stacja ma wbudowany serwer WWW.
- Poziom 2 – diagnostyka modułu – informacje diagnostyczne dotyczące samego modułu w danej stacji. Pozwala to na zidentyfikowanie konkretnego modułu, w którym sygnalizowany jest problem.
- Poziom 3 – diagnostyka submodułu – sygnalizacja problemu z konkretnym submodułem (podmodułem) w ramach danego modułu. Pozwala to na precyzyjniejszą lokalizację błędu komunikacji.
- Poziom 4 – diagnostyka kanału, pozwala najbardziej szczegółowo zlokalizować błąd. Do najczęstszych problemów można zaliczyć zwarcie lub przerwę w kanale wejściowym, np. zerwany przewód w kanale, danego modułu.

Poziomy diagnostyczne stacji zostały przedstawione na rysunku 3.33.



Rys. 3.33. Poziomy diagnostyczne stacji w sieci PROFINET IO [24, 25]

Ze względu na rodzaj diagnozowanej warstwy protokołu, diagnostykę sieci PROFINET IO można podzielić na dwa rodzaje: diagnostyka na poziomie fizycznym oraz diagnostyka na poziomie cyfrowym protokołu. Diagnostyka warstwy fizycznej polega na wykorzystaniu różnych urządzeń, takich jak testery certyfikujące, kwalifikujące i weryfikujące, które służą jako narzędzia do wykrywania problemów w przewodzie komunikacyjnym, dokonywania pomiarów parametrów skrętki, itp. Diagnostyka na poziomie cyfrowym polega na wykorzystaniu protokołów (SNMP, LLDP, itp.) i aplikacji/oprogramowania dedykowanego do zarządzania siecią i monitorowania ruchu w sieci (np. analizator WireShark) celem analizy ramek danych pod kątem odczytu informacji diagnostycznych oraz wykrywania nie prawidłowości. W szczególności ze względu na rodzaj diagnozowanej warstwy, diagnostykę sieci PROFINET IO charakteryzują podstawowe elementy:

- diagnostyka warstwy fizycznej protokołu:
    - analiza natężenia i lokalizacji zakłóceń w skrętce przewodów komunikacyjnych,
    - wykrywanie przesłuchów,
    - analiza obciążenia portów,
    - weryfikacja połączeń pomiędzy konektorami,
    - weryfikacja długości przewodu komunikacyjnego, która nie powinna przekraczać 100m,
    - analiza maksymalnego tłumienia połączeń komunikacyjnych,
    - analiza strat sygnału związana z odbiciem,
    - pomiar czasu propagacji sygnału elektrycznego w skrętce,
- diagnostyka na poziomie cyfrowym protokołu:
    - analiza ruchu w sieci,
    - analiza przy pomocy protokołu SNMP (ang. *Simple Network Management Protocol*) i wykorzystanie bazy informacji o urządzeniu MIB (ang. *Management Information Base*),
    - zdalna diagnostyka sieci poprzez wbudowany serwer WWW w urządzeniu IO-Controller,
    - diagnostyka z wykorzystaniem protokołu LLDP (ang. *Link Layer Discovery Protocol*), która pozwala na weryfikację topologii sieci i połączeń pomiędzy stacjami,
    - wykorzystanie innych procedur z poziomu stacji nadzorującej np. ping, itd.

Podstawowe problemy związane z warstwą fizyczną sieci PROFINET to:

- przerwa lub zwarcie w przewodzie komunikacyjnym (linii),
- brak podłączenia któregoś z pinów skrętki lub zamiana pinów (krosowanie),
- przekroczenie dozwolonej długości linii,

- uszkodzenie przewodu, przesłuchy pomiędzy liniami,
- nieprawidłowe parametry elektryczne przewodu, np. zbyt duże tłumienie.

Do podstawowych opcji dostępu do informacji diagnostycznych w systemie PROFINET IO należy:
- diagnostyka zdalna/online za pomocą PG/PC/HMI,
- odczyt statusu urządzenia w programie użytkownika poprzez analizę list SSL,
- odczyt informacji diagnostycznych z rekordów danych za pomocą funkcji w programie użytkownika,
- odczyt danych diagnostycznych w postaci wskaźników błędów poprzez serwer WWW lub HMI,
- diagnostyka infrastruktury sieciowej za pomocą protokołu SNMP,
- analiza informacji diagnostycznych poprzez generowanie przerwań (SFB) w programie użytkownika.

3.18.2. Diagnostyka na poziomie warstwy fizycznej

Diagnostyka warstwy fizycznej opiera się głównie na diagnostyce przewodów i złącz komunikacyjnych. Stosowane testery można podzielić na:
- podstawowe urządzenia do weryfikowania poprawności połączeń stacji w sieci, takich jak: ciągłość przewodu, poprawność połączeń przewodu na jego końcach, pomiar długości przewodu, wykrywanie przerwy lub zwarcia w przewodzie oraz odległości w jakim występuje ten problem,
- testery kwalifikujące okablowanie, są rozbudowanymi narzędziami diagnostycznymi, które pozwalają zweryfikować połączenia, wykryć problemy okablowania oraz ich lokalizację oraz pozwalają dokonać pomiaru parametrów przewodu wymaganych do jego certyfikacji, czyli np. pomiar przesłuchów, tłumienia, odbicia sygnału, itp.,
- testery certyfikujące okablowanie, które są najbardziej rozbudowanymi urządzeniami specjalistycznymi do rozszerzonej identyfikacji parametrów przewodu komunikacyjnego, które są wymagane do certyfikowania danego medium.

Widok przykładowych testerów sieci PROFINET IO został przedstawiony na rysunku 3.34.

Rys. 3.34. Testery przewodu komunikacyjnego [29, 30]

Do podstawowych pomiarów wykonywanych w ramach diagnostyki przewodów i złącz komunikacyjnych zaliczamy:
- identyfikację schematu połączeń elementów sieci (ang. *wire map*),
- pomiar długości przewodu komunikacyjnego pomiędzy urządzeniami,
- pomiar tłumienia połączeń (ang. *insertion loss*),
- pomiar przesłuchów pomiędzy parami przewodów (ang. *next loss*),
- pomiar przesłuchów sumarycznych pomiędzy parami przewodów (ang. *PS next loss*),
- identyfikacja stosunku tłumienia sygnału do przesłuchów na końcu przewodu (ang. *ACR-F loss*),

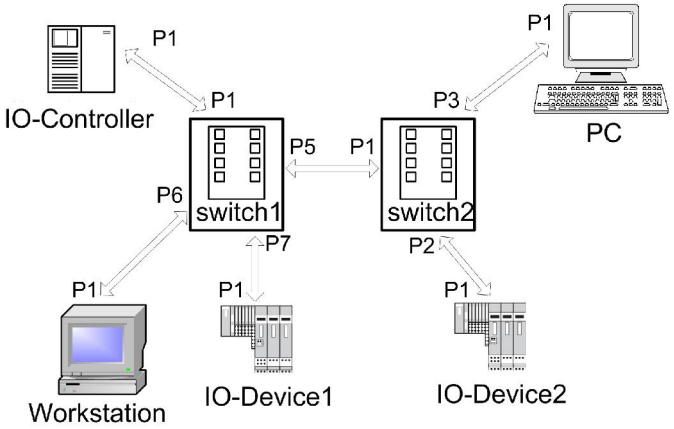
- pomiar sumarycznego stosunku tłumienia sygnału do przesłuchów na końcu przewodu (ang. *PS ACR-F loss*),
- weryfikacja strat amplitudy związanych z odbiciem sygnału (ang. *return loss*),
- weryfikacja parametrów czasowych transmisji sygnału, takich jak prędkość i opóźnienia transmisji (ang. *propagation delay*),
- pomiar nierównomierności opóźnienia transmisji (ang. *delay skew*).

3.18.3. Diagnostyka z wykorzystaniem protokołu LLDP

Protokół LLDP (ang. *Link Layer Discovery Protocol*) umożliwia identyfikację połączeń sieciowych oraz topologii sieci [17, 19]. Jest to możliwe dzięki temu, że każde urządzenie kompatybilne z protokołem LLDP przechowuje informację o urządzeniu z którym jest połączone przewodem komunikacyjnym. Dodatkowo każda stacja cyklicznie wysyła rozgłoszenia do wszystkich stacji z informacją o sobie. Informacja ta jest dostępna dla innych aplikacji dzięki protokołowi SNMP (ang. *Simple Network Management Protcol*). W rezultacie powala to na porównanie rzeczywistej topologii sieci z topologią zdefiniowaną/zadaną w projekcie. Daje to dodatkowe korzyści podczas lokalizacji błędów konfiguracji sieci, diagnostyki sieci oraz ułatwia jej konfigurację oraz dodawanie/usuwanie stacji. Dane pakietu LLDP zawierają 4 podstawowe pola:
- identyfikator urządzenia (ang. *chassis ID*), który pozwala na identyfikację stacji „sąsiada”,
- identyfikator portu stacji (ang. *port ID*),
- czas ważności przesłanych danych (ang. *time to live*), który jednoznacznie określa czas ważności danych, po upływie tego czasu dane są wolne do usunięcia,
- znacznik końca danych pakietu protokołu LLDP (ang. *end of LLDPDU*).

Oprócz wyżej wymienionych 4 podstawowych informacji pakietu pola TLV (ang. *Type Lenght Value*), protokół LLDP udostępnia następujące informacji opcjonalne:
- opis portu stacji (ang. *port description*),
- nazwę stacji (ang. *system/station name*),
- opis stacji (ang. *system/station description*),
- możliwości stacji (ang. *station capabilities*),
- adres interfejsu zarządzającego (ang. *management address*),
- informacje specyficzne dla organizacji (ang. *organizationally specific*).

Działanie protokołu LLDP polega na cyklicznym rozgłaszaniu informacji o stacji przez stację obsługującą protokół LLDP. Rozgłoszenie to dociera do wszystkich stacji obsługujących protokół LLDP. Jeżeli wszystkie stacje w sieci są kompatybilne z protokołem LLDP, rozgłoszenie dociera do ostatniej stacji i nie jest dalej przekazywane. Każda stacja zgodna z LLDP przechowuje informacje o swoich partnerach w bazie MIB (ang. *Management Information Base*). Zawartość bazy MIB jest odczytywana za pomocą protokołu SNMP. Przykład działania protokołu LLDP w sieci został przedstawiony na rysunku 3.35.



Nazwa stacji	Informacja LLDP
IO-Controller	Port1: port1, switch1
switch1	Port1: port1, IO-Controller Port2: nc … Port4: nc Port5: port1, switch2 Port6: port1, Workstation Port7: port1, IO-Device1 Port8: nc … Port16: nc
Workstation	Port1: port6, switch1
IO-Device1	Port1: port7, siwtch1
switch2	Port1: port5, switch1 Port2: port 1, IO-Device2 Port3: port1, PC
IO-Device2	Port1: port2, switch2
PC	Port1: port3, siwtch2

Rys. 3.35. Działanie LLDP [19]

3.18.4. Diagnostyka z wykorzystaniem protokołu SNMP

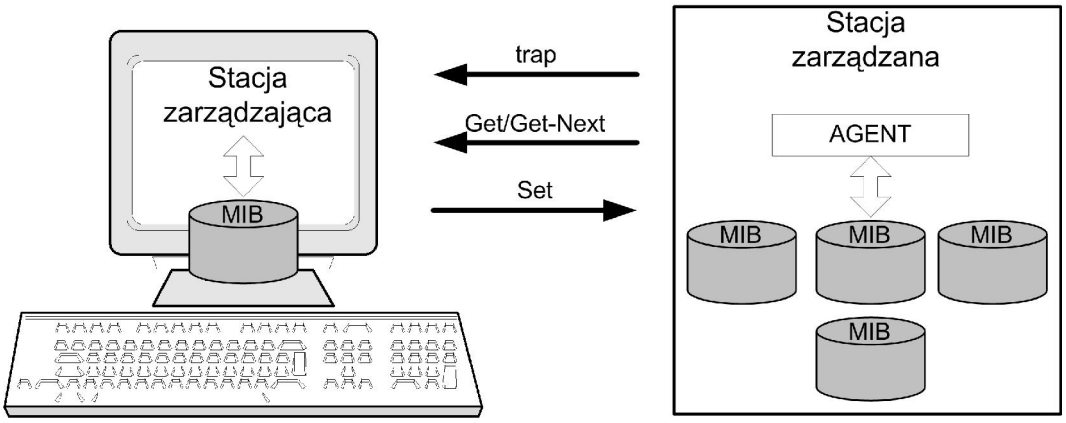
Protokół SNMP (ang. *Simple Network Management Protcol*) jest stosowany do monitorowania pracy urządzeń w sieci oraz do zarządzania urządzeniami sieciowymi za pomocą protokołu UDP/IP [19]. Protokół SNMP jest nie zależny od producenta, jest wymagany w klasie zgodności B (PROFINET). Zarządzanie urządzeniami sieciowymi przez protokół SNMP polega na odczytywaniu bazy MIB (ang. *Management Information Base*), która zawiera informacje/parametry o danym urządzeniu. Struktura bazy MIB jest nie zależna od producenta. Działanie SNMP można scharakteryzować następująco:

- stacja zarządzająca (ang. *Network Management Station*) np. PC z oprogramowaniem, cyklicznie przepytuje wszystkie stacje w sieci,
- oprogramowanie stacji zarządzającej nazywa się agentem zarządzającym,
- stacja zarządzająca komunikuje się z zarządzanymi stacjami poprzez protokół sieciowy UDP (port 161),
- stacja zarządzająca pobiera informacje o urządzeniach w postaci tablic zmiennych opisujących parametry urządzenia przetrzymywane w bazie MIB. Dane urządzenie w sieci może być opisane przez kilka MIB. Producent urządzenia może zdefiniować własne MIB. MIB jest wczytywane do stacji zarządzającej poprzez agenta/oprogramowanie. Bazy MIB dzieli się na:
    - bazy standardowe – ogólne,
    - bazy prywatne – specyficzne dla danego urządzenia i definiowane przez producenta,
- stacja zarządzająca poprzez protokół SNMP komunikuje się z stacjami zarządzanymi wykorzystując komunikaty/funkcje, których budowa zdefiniowana jest przy pomocy notacji zwanej ASN (ang. *Abstract Syntax Notation One*). Najważniejsze rodzaje komunikatów protokołu SNMP to:
    - Get – do pobierania danych,
    - GetNext – do pobierania następnej w kolejności wiadomości o zarządzanej stacji poprzez agneta,
    - Set – do ustawiania wartości parametrów zarządzanych stacji,
    - Trap – do wysyłania wiadomości o problemach zarządzanych stacji do urządzenia zarządzającego. Komunikaty te są domyślnie wysyłane poprzez port 162 protokołu TCP lub UDP.

SNMP jest obecnie najpopularniejszym protokołem służącym do zarządzania urządzeniami sieciowymi. Główne zalety stosowania protokołu SNMP to:

- małe obciążenie sieci,
- mała ilość poleceń własnych,
- niskie koszty wdrożenia do eksploatacji.

Wadą stosowania SNMP jest brak bezpieczeństwa przesyłanych danych.
Na rysunku 3.36 przedstawiono działanie protokołu SNMP.



Rys. 3.36. Działanie protokołu SNMP [19, 23]

3.18.5. Inne sposoby diagnostyki sieci

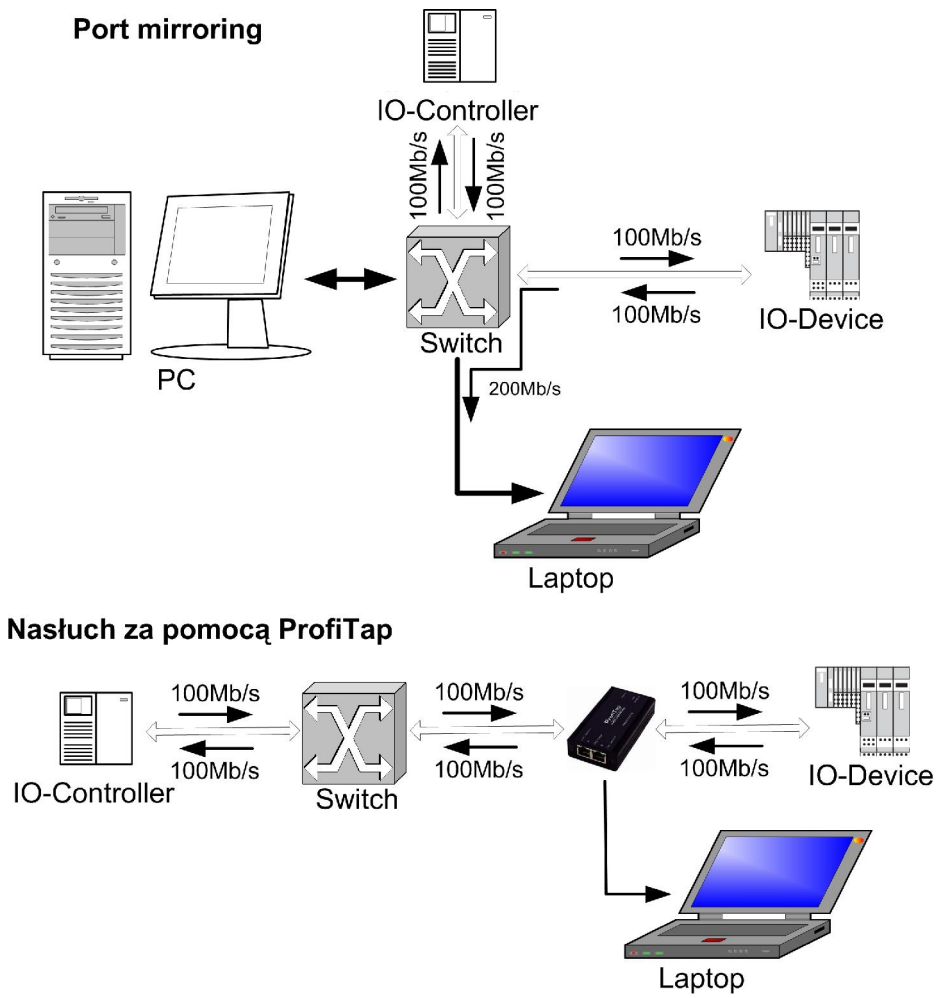
W sieciach PROFINET wyróżniamy dodatkowe sposoby diagnostyki problemów:

- sprawdzenie połączenia komunikacyjnego za pomocą polecenia *ping*,
- sprawdzenie stanu portu (dioda LINK),
- zdalna diagnostyka za pomocą przeglądarki internetowej w stacjach wyposażonych w serwer WWW,
- sprawdzenie stanu diody LINK na przełącznikach w sieciach przełączanych, w których diagnostyka sieci jest utrudniona z uwagi na pracę przełącznika (switch), który przekazuje informację tylko pomiędzy stacjami do których dane są adresowane. Tym samym podsłuchiwanie informacji w sieci z przełącznikiem jest nie możliwe.

Diagnostyka w sieciach przełączanych (z przełącznikami) jest wykonywana poprzez:

- dostęp do sieci poprzez przełącznik za pomocą portu szeregowego i konsoli Telnet,
- podłączenie narzędzia diagnostycznego do niewykorzystywanego portu przełącznika,
- zastosowanie funkcji *port mirroring*, która pozwala na kopiowanie strumienia danych przekazywanego przez port przełącznika na inny port. Opcja ta wymaga zmiany konfiguracji przełącznika, która może być zrealizowana lokalnie albo zdalnie. Warunkiem jest tutaj aby przepustowość portu na który jest kopiowany ruch była większa niż natężenie ruchu w porcie źródłowych oraz dany przełącznik musi obsługiwać opcję *port mirroring*,
- wykorzystanie urządzenia typu hub do podłączenia narzędzia diagnostycznego. Sposób ten nie jest zalecany, gdyż powoduje to modyfikowanie struktury sieci (powstaje domena kolizji) i dlatego monitorowana stacja może nie pracować w trybie full-dulpex,
- wykorzystanie specjalistycznego urządzenia do nasłuchiwania strumienia danych w sieci, np. przystawka *Tap*. Urządzenie to jest włączane szeregowo w sieć, tym samym nie powoduje modyfikacji jego struktury (jest nie widzialne w sieci). Wadą tego rozwiązania jest to, że nasłuchiwany ruch będzie tylko w tym połączeniu, w którym jest podłączona przystawka *Tap*, nie ma możliwości monitorwania całego ruchu w sieci. Połączenie przystawki *Tap* z stacją monitorującą np. PC może być poprzez interfejs USB lub Gigabit Ethernet. Stacja dołączona do portu nasłuchującego nie może poprzez ten port wysyłać danych.

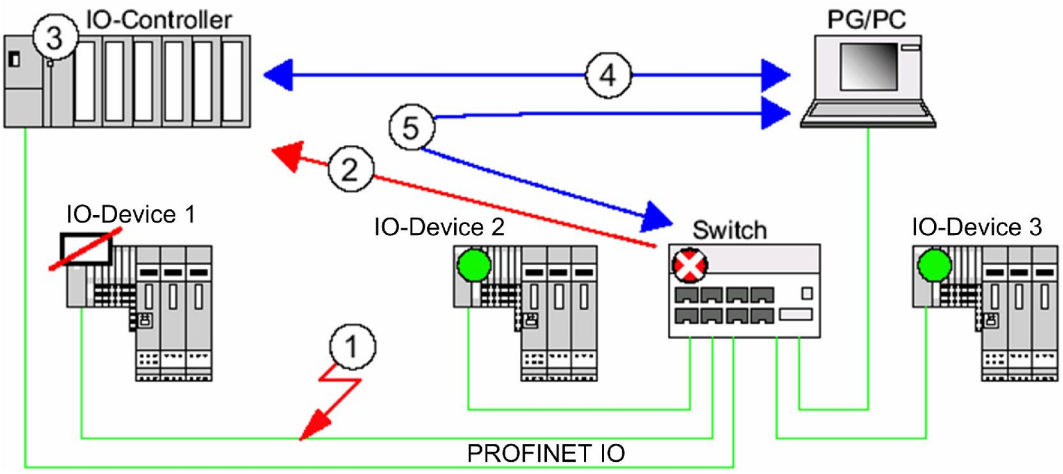
Sposób wykorzystanie funkcji *port mirroring* oraz nasłuchiwania sieci za pomocą przystawki *Tap* został przedstawiony na rysunku 3.37.



Rys. 3.37. Monitorowanie sieci poprzez *port mirroring* i urządzenie nasłuchujące *Tap*

3.18.6. Przykład realizacji diagnostyki sieci

Poniżej została przedstawiona realizacji diagnostyki programowej w systemie Simatic (Siemens). Sekwencja zdarzeń diagnostycznych w przypadku uszkodzenia przewodu komunikacyjnego w sieci PROFINET IO został przedstawiony na rysunku 3.38.



Rys. 3.38. Sekwencja realizacji diagnostyki [24, 25]

Opis zdarzeń diagnostycznych jest następujący:

1. Natężenie sygnału w przewodzie komunikacyjnym spada poniżej 2 dB.
2. Urządzenie typu switch wysyłaj żądanie obsługi zdarzenia jako alarm do sterownika IO-Controller (brak komunikacji z stacią IO-Device 1).
3. Sterownik IO-Controller zapisuje informacje diagnostyczne i wywołuje odpowiedni blok OB (jeśli został zaprogramowany).
4. Poprzez program STEP 7 stacja PG/PC umożliwia wyświetlenie komunikatu błędu.
5. Program STEP 7 umożliwia odczyt informacji diagnostycznych bezpośrednio z urządzenia Switch.

4. Ćwiczenia z projektowania sieci PROFINET IO

W tym rozdziale zostaną opisane ćwiczenia z projektowania, programowania wymiany danych oraz diagnostyki sieci PROFINET IO. Znajomość podstaw programowania sterowników PLC (np. [10÷12]) jest niezbędnym elementem wymaganym do realizacji tych ćwiczeń.

Wstęp

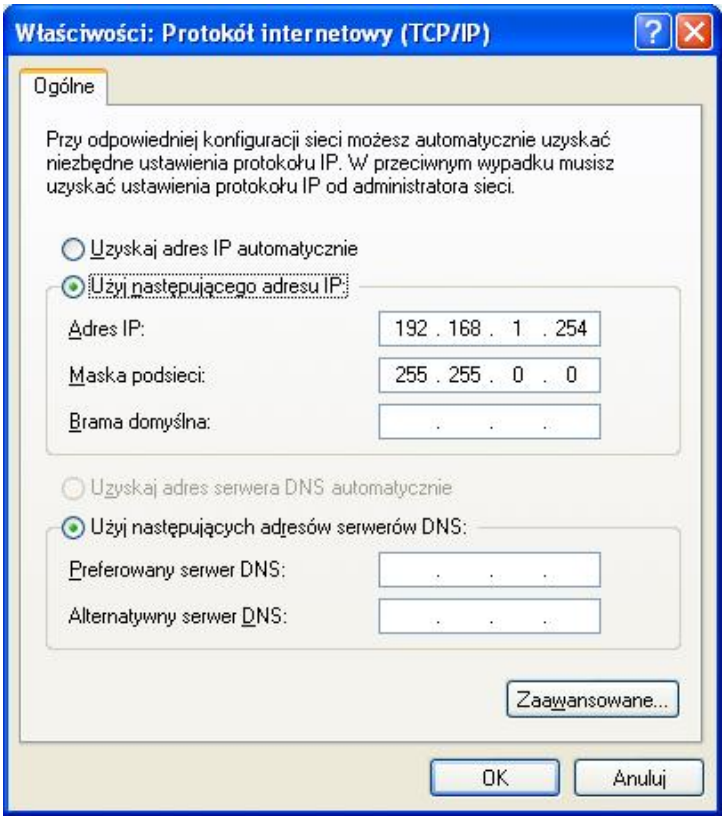
Ćwiczenia praktyczne dotyczą wykonywania kompleksowej aplikacji i dokumentacji rozproszonego systemu sterowania PLC z wykorzystaniem standardu sieciowego PROFINET IO do komunikacji z urządzeniami peryferyjnymi. Celem zadań praktycznych jest nabycie wiedzy i umiejętności praktycznych dotyczących projektowania, konfigurowania i parametryzowania sieci PROFINET IO.

Ćwiczenia praktyczne są wykonywane w laboratorium dydaktycznym sieci przemysłowych i obejmują następujące zagadnienia:

- konfiguracja i parametryzacja sieci PROFINET IO,
- konfiguracja trybu RT/IRT sieci PROFINET IO oraz topologia sieci,
- konfiguracja szybkiego restartu stacji IO-Device w sieci PROFINET IO,
- programowanie cyklicznej wymiany danych procesowych w sieci PROFINET IO,
- wykonywanie diagnostyki sieci PROFINET IO,
- nasłuch pakietów sieci PROFINET IO poprzez oprogramowanie Wireshark [31],
- funkcje IT (WEB/FTP) stacji typu IO-Controller.

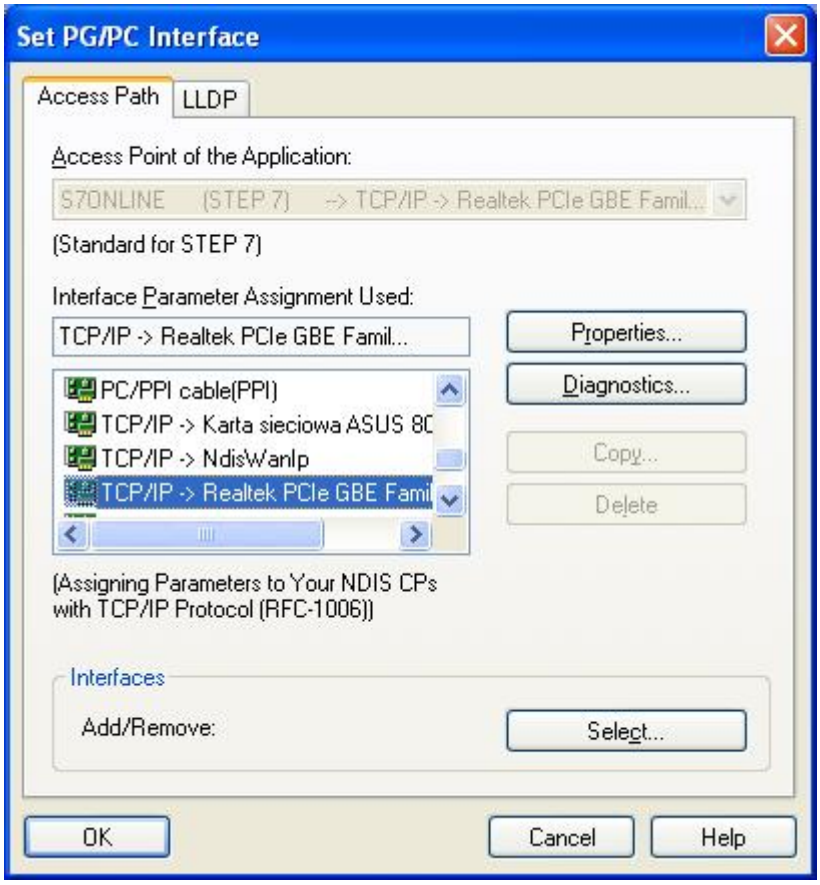
4.1. Konfiguracja połączenia stacji PC z systemem sterowania PROFINET IO

Konfigurowanie połączenia TCP/IP pomiędzy stacją PC a sterownikiem IO-Controller jest przedstawione na rysunkach 4.1 i 4.2.



Rys. 4.1. Przykładowe ustawienie adresu IP i Maski dla stacji PC

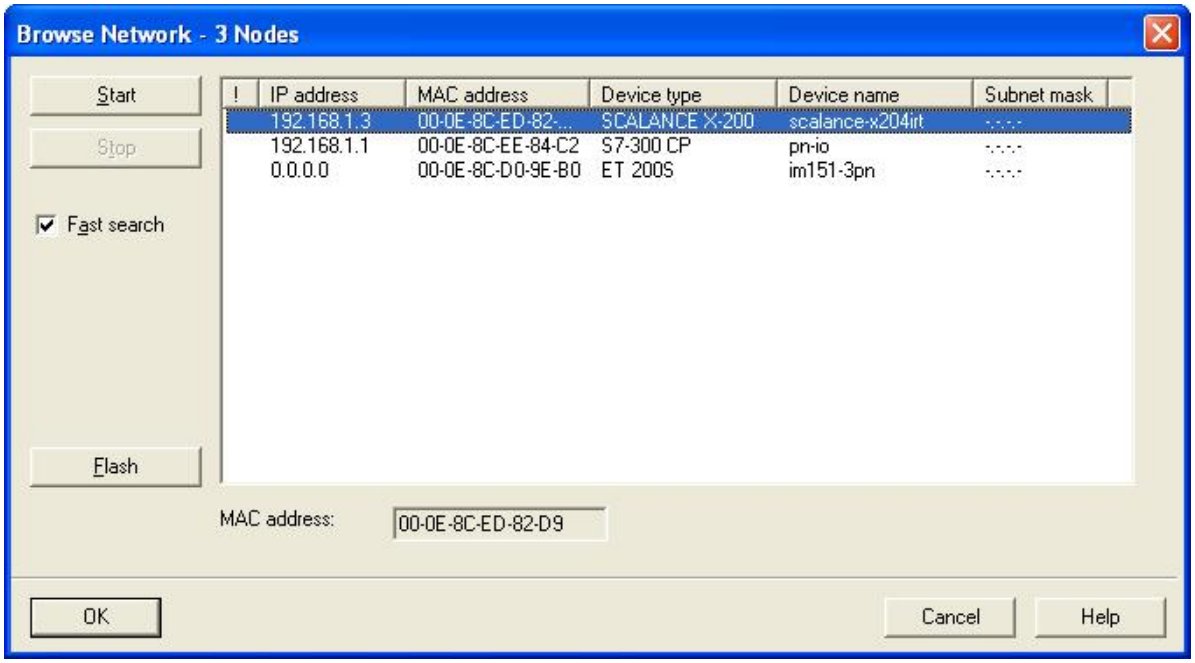
Do połączenia poprzez konwerter USB/RS485 należy użyć połączenia 'PC Adapter(MPI)' wykorzystujący interfejs MPI (ang. *Multi Point Interface*), (rysunek 4.2). Połączenie to wykorzystuje się często podczas wygrywania pierwszej konfiguracji sprzętowej IO-Controller i IO-Device. Kolejne konfiguracje sprzętowe można wygrywać poprzez połączenie TCP/IP.



Rys. 4.2. Ustawienie połączenia PC/PG w SIMATIC Manager/Options/Set PG/PC Interface

4.2. Przyporządkowanie adresów IP oraz nadawanie nazw stacjom PROFINET IO

Przed inicjacją sieci wszystkie urządzenia muszą mieć nazwy.
Nadawanie nazw stacjom w sieci PROFINET IO jest możliwe po wcześniejszym wyszukaniu stacji w sieci z poziomu PC/SIMATIC Manager podczas połączenia TCP/IP. Identyfikacja urządzeń w sieci PROFINET IO została przedstawiona na rysunku 4.3.



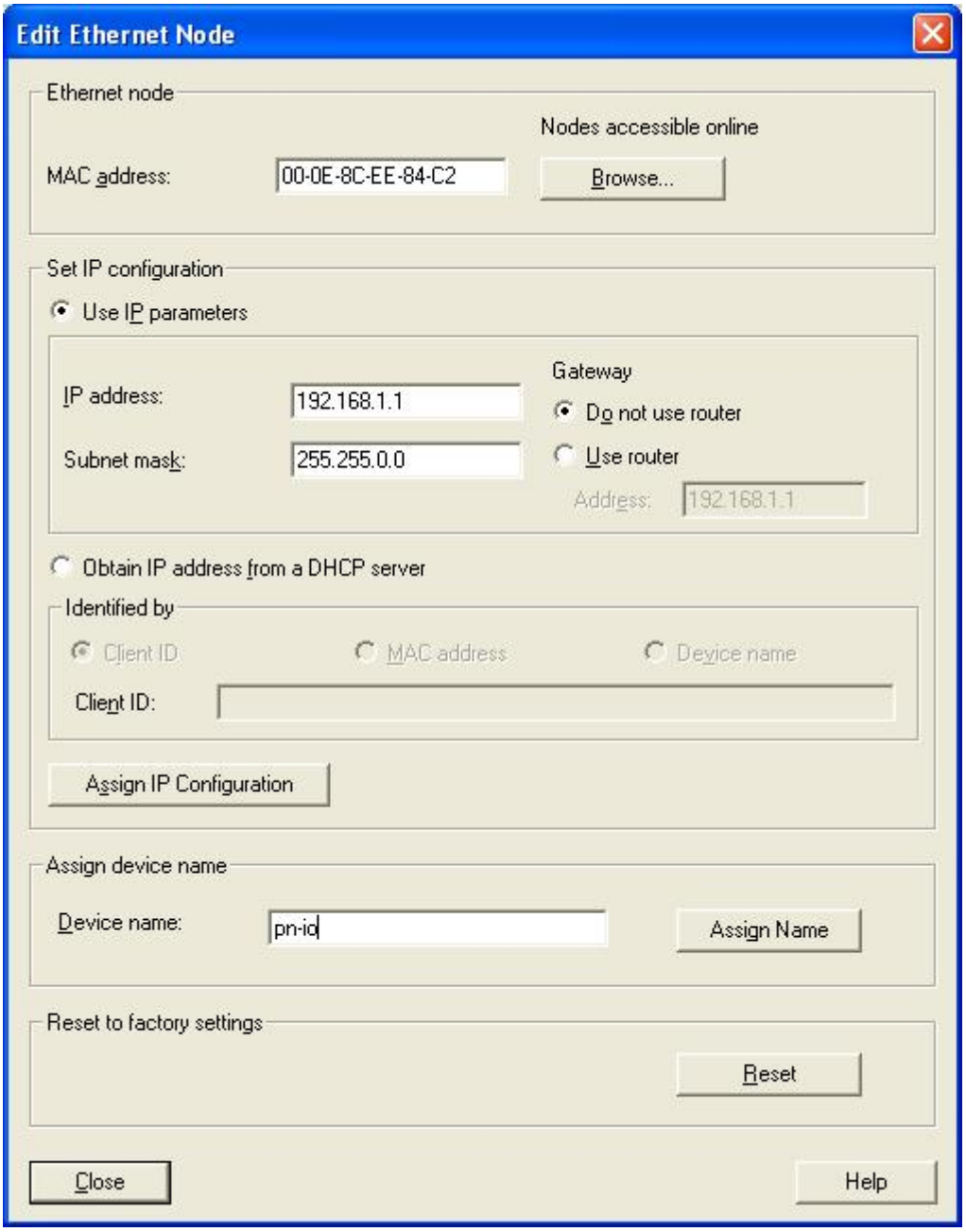
Rys. 4.3. SIMATIC Manager/PLC/Edit Ethernet Node/Browse

Okno 'Browse Network' pozwala na:

- identyfikacje błędów sieci, szczególnie kolizji adresów IP i nazw urządzeń - przycisk '!',
- identyfikację adresów MAC stacji,
- odczyt typu stacji,
- odczyt nazwy stacji
- odczyt podsieci.

Przycisk 'Flash' służy do identyfikacji połączenia stacji i sprawdzenia wszystkich jej portów poprzez wysłanie sygnału 'Flash' sygnalizowanego przez diody P1, P2, … połączenia 'LINK' na obudowie urządzenia.

Przydzielanie adresu IP i numeru MASK oraz nadawanie nazwy dla stacji przedstawiono na rysunku 4.4.

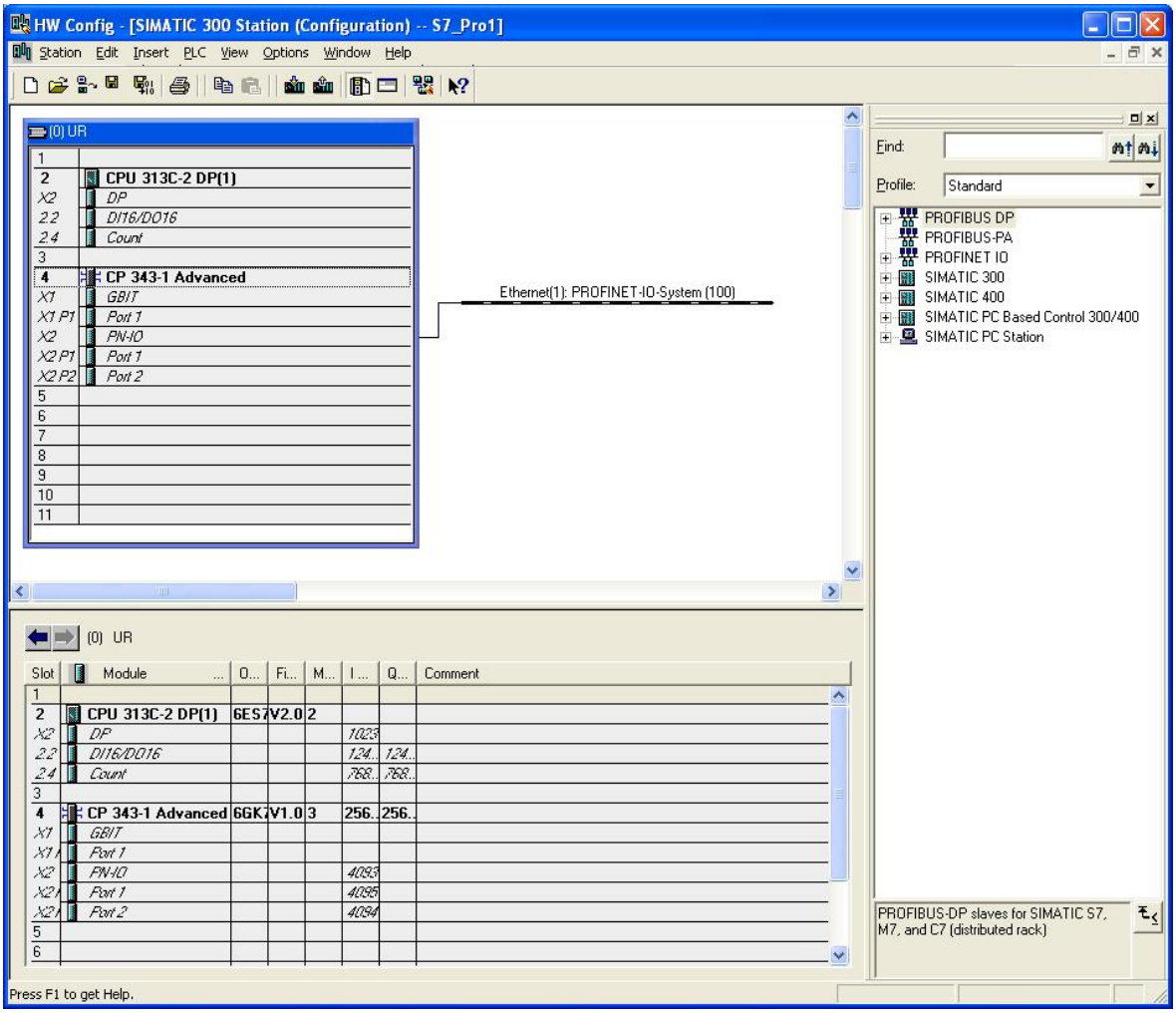


Rys. 4.4. SIMATIC Manger/PLC/Edit Ethernet Node

Przycisk 'Assign IP Configuration' służy do zapisywania parametrów IP. Przycisk 'Assign Name' służy do zapisywania nazwy urządzenia. Przycisk 'Reset' pozwala na powrót do ustawień fabrycznych urządzenia, co pozwala na skonfigurowanie sieci PROFINET IO bez modyfikacji jej nazw czy adresów. Wykonanie powyższych czynności może nie być możliwe, kiedy dana stacja jest w trybie wymiany danych procesowych. W takim przypadku należy odłączyć IO-Controller. Należy przy tym pamiętać, że nadawanie/zmiana adresu IP dla urządzenia IO-Device jest możliwa, jeżeli urządzenie to nie znajduje się w trybie wymiany danych procesowych. Przerwanie wymiany danych procesowych można zrealizować poprzez odłączenie kabla komunikacyjnego urządzenia IO-Controller.

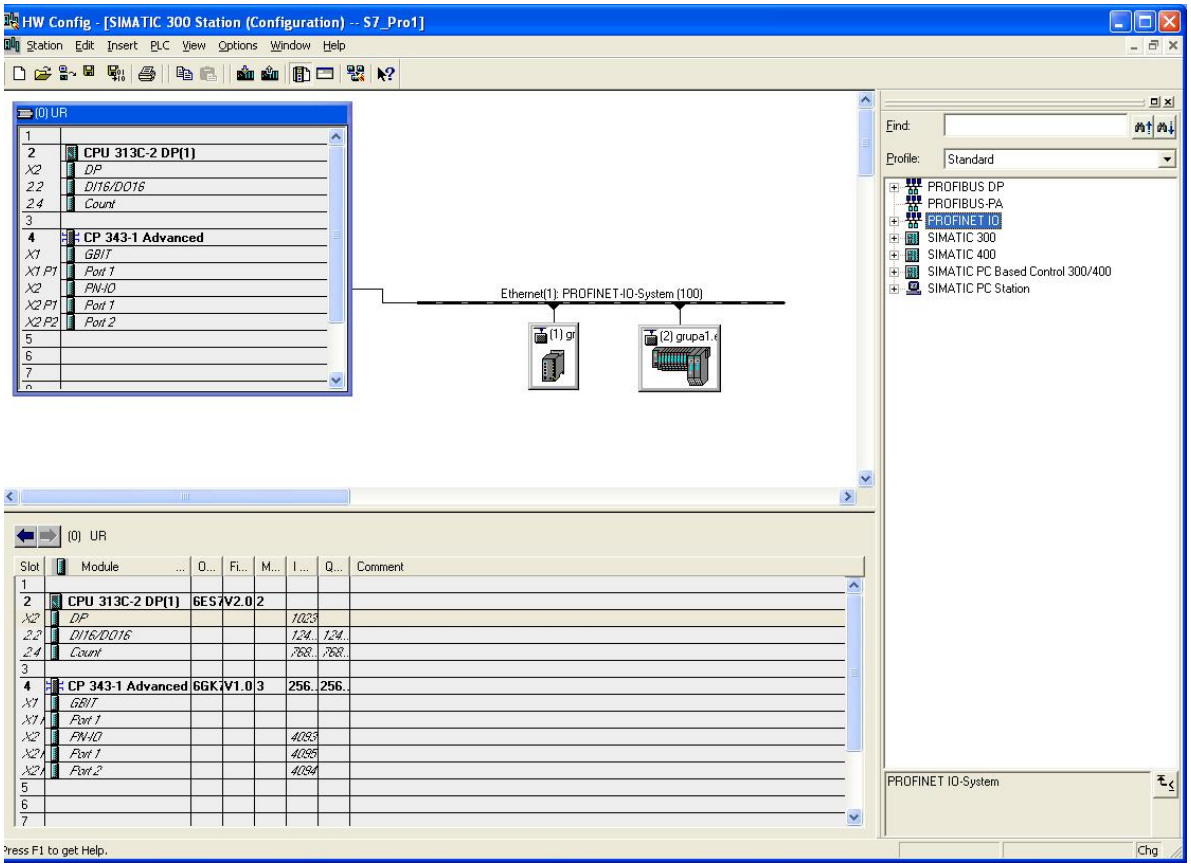
4.3. Konfigurowanie sieci PROFINET IO

Konfigurowanie sieci umożliwia narzędzie ‘HW Config’ (rysunek 4.5). Wszelkie zmiany dokonywane w konfiguracji stacji i sieci PROFINET IO w oknie ‘HW Config’ wymagają zapisu z kompilacją (zakładka 'Station/Save and Compile') oraz załadowania do pamięci sterownika IO-Controller (zakładka 'PLC/Download'). Konfiguracja rozpoczyna się od sterownika IO-Controller, w przypadku modułu komunikacyjnego CP 343-1 Advanced obsługującym PN-IO, nową sieć PROFINET IO ustawia się np. poprzez zakładkę Insert/PROFINET IO SYTEM.



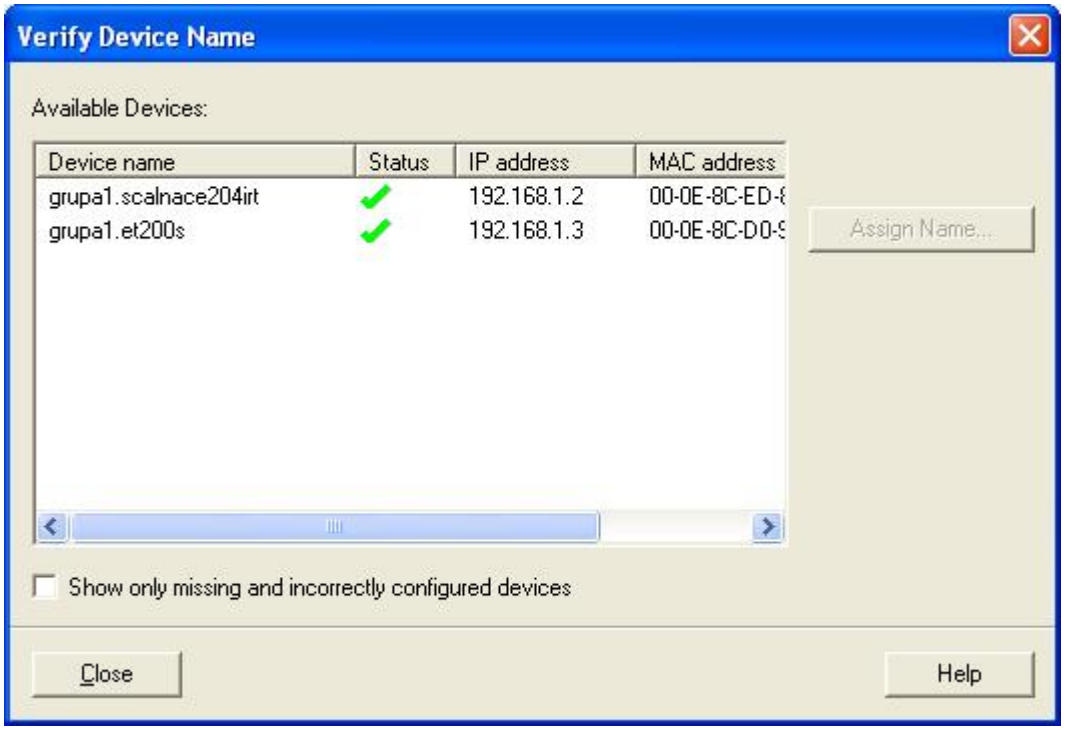
Rys. 4.5. Okno HW Config z włączoną siecią PROFINET IO

Dodawanie kolejnych urządzeń do sieci PROFINET IO odbywa się poprzez ich wybór w prawej zakładce okna 'HW Config' oraz włączenie myszką do magistrali sieci PROFINET IO (typu *drag-and-drop*). Operacja ta wymaga poprawnego zidentyfikowania numerów urządzenia (ang. *order number*), rodzaju firmware oraz numerów MAC zlokalizowanych na obudowie urządzenia. Konfigurowanie poszczególnych slotów urządzeń IO-Devices jest realizowane w podobny sposób (rysunek 4.6).



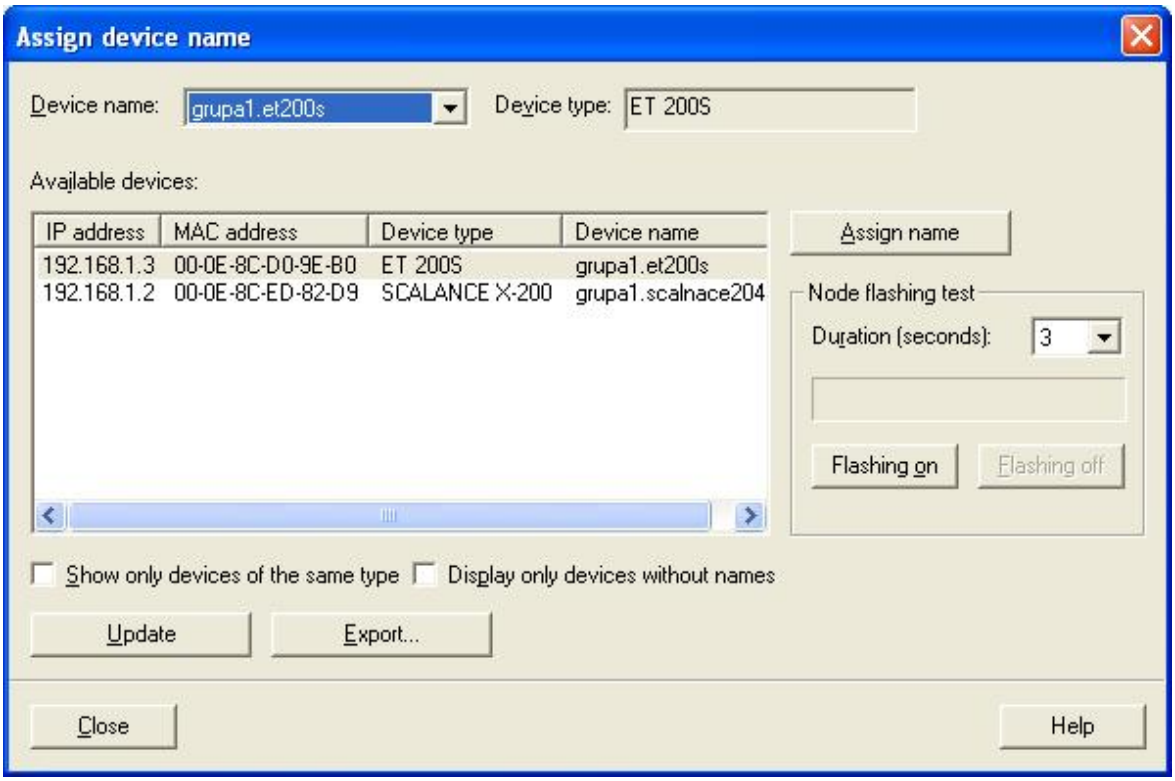
Rys. 4.6. Okno ‘HW Config’ z włączoną siecią PROFINET IO i podłączonymi stacjami IO-Devices

Kolejnym krokiem konfiguracji systemu PROFINET IO jest weryfikacja adresów i nazw stacji IO-Devices. Niewłaściwa nazwa przypisana do urządzenia lub kolizja adresów IP jest jedną z głównych przyczyn problemów z komunikacją urządzeń IO-Devices w sieci PROFINET IO. Weryfikacja ta jest możliwa poprzez zaznaczenie magistrali sieci i włączenie zakładki PLC/Ethernet/Verify Device Name. Przykładowe nazwy urządzeń są dwuczłonowe (odseparowane znakiem kropki) i zostały przedstawione na rysunku 4.7.



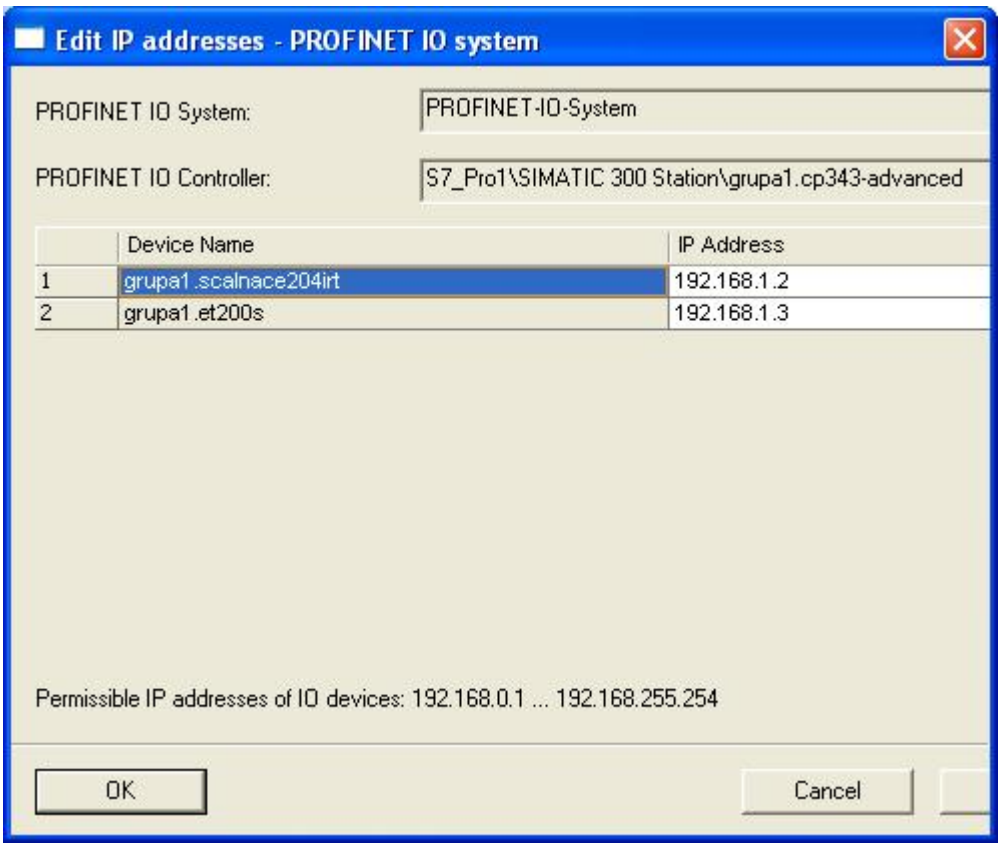
Rys. 4.7. Weryfikacja adresów i nazw stacji IO-Devices

W przypadku negatywnego statusu urządzenia IO-Device w oknie 'Verify Device Name' należy przypisać poprawną nazwę lub zweryfikować adres IP. Aby przypisać nazwę stacji IO-Device w 'HW Config' należy przejść do zakładki PLC/Ethernet/Assign device name. Następnie należy wybrać nazwę urządzenia oraz zaznaczyć urządzenie i przypisać nazwę przyciskiem 'Assign name', (rysunek 4.8).



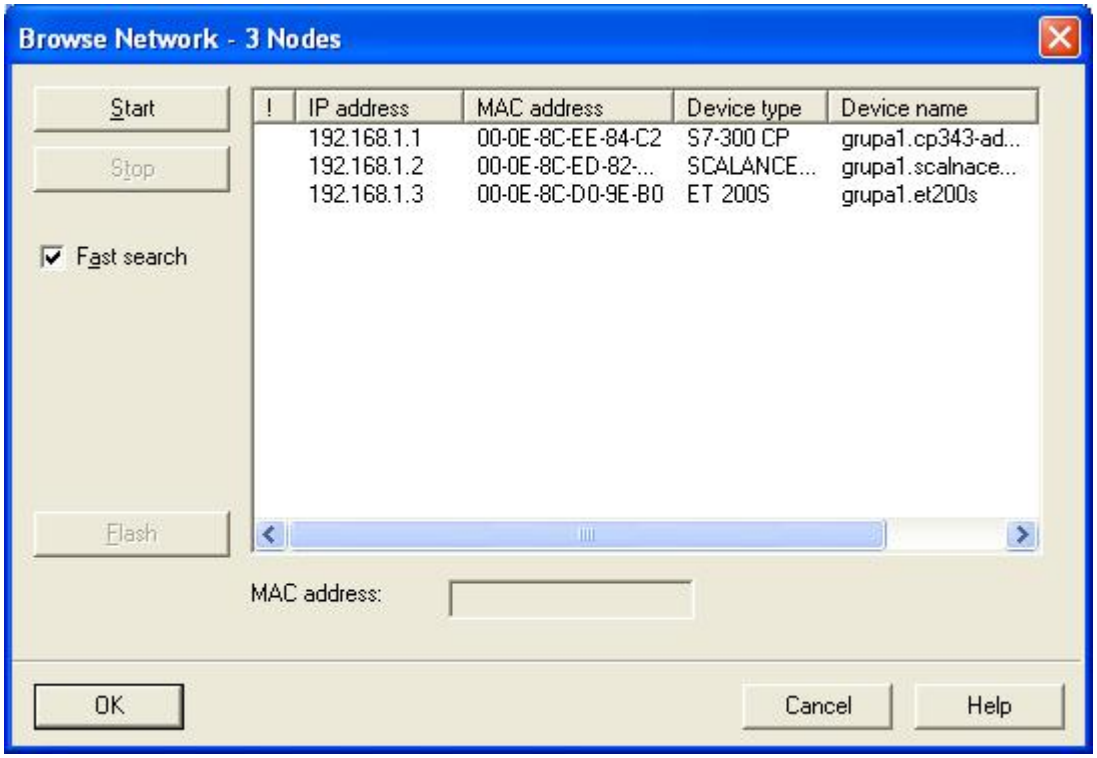
Rys. 4.8. Przypisywanie nazw urządzeniom IO-Devices, zakładka PLC/Ethernet/Assign device name

Sprawdzenie i modyfikacja adresów IP przypisanych stacjom IO-Device jest realizowana poprzez zakładkę Edit/PROFINET IO/PROFINET IO System/IP Addresses, (rysunek 4.9).



Rys. 4.9. Edycja adresów IP stacji IO-Devices, zakładka Edit/PROFINET IO/PROFINET IO System/IP Addresses

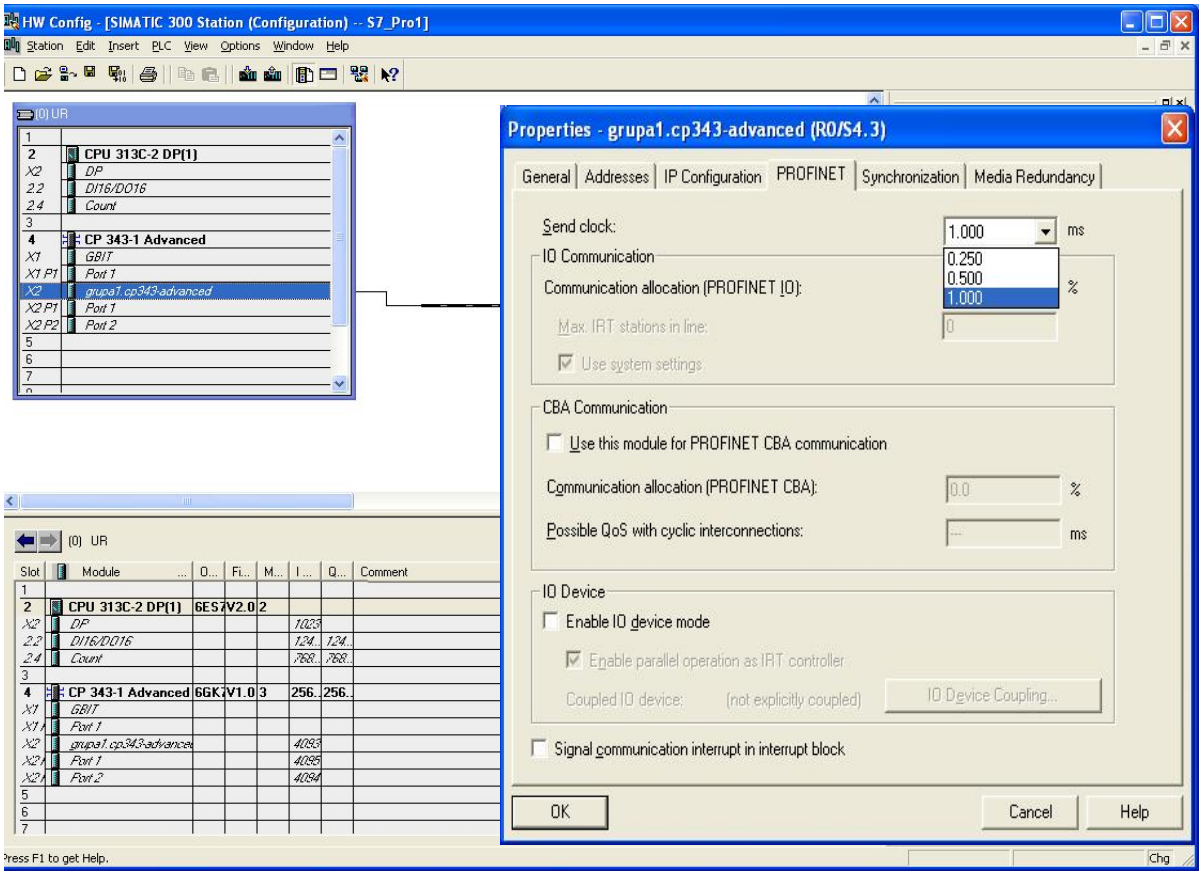
Przykładowa poprawna konfiguracja stacji IO-Devices została przedstawiona na rysunku 4.10.



Rys. 4.10. Wyszukiwanie urządzeń w sieci PROFINET IO, zakładka PLC/Ethernet/Edit Ethernet Node/Browse

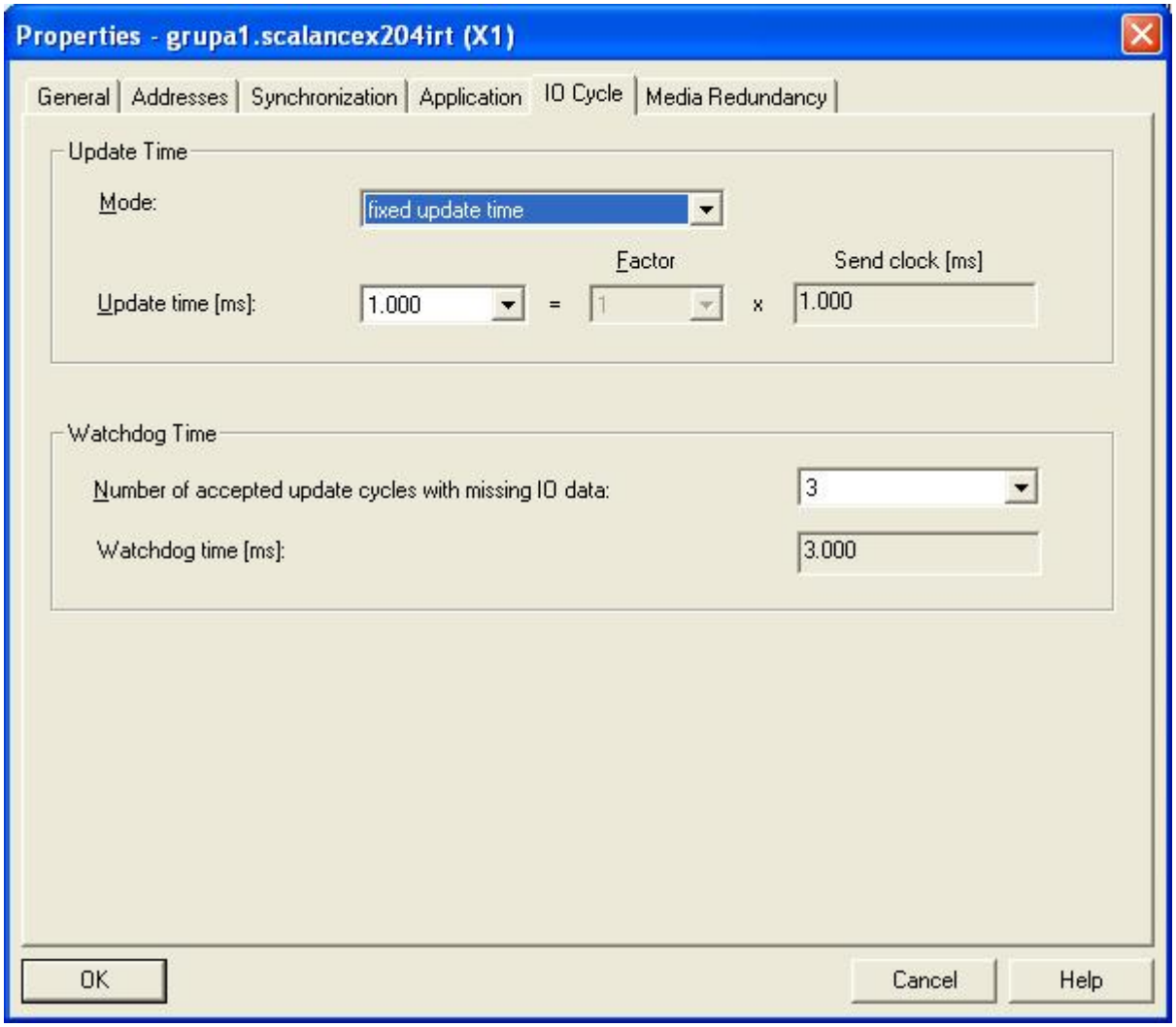
4.4. Ustawianie cyklu wymiany danych i cyklu odświeżania informacji

Ustawienie cyklu/zegara nadawania danych w urządzeniu IO-Controller tzw. zegar nadawania (ang. *send clock*) umożliwia okno 'PN-IO/Object Properties/PROFINET/Send clock', (rysunek 4.11). Zegar nadawania może być edytowany tylko wtedy, gdy urządzenie IO-Controller nie pracuje w trybie synchronicznej wymiany danych czasu rzeczywistego IRT (zakładka 'PN-IO/Object Properties/Synchronization/Synchronization role = not synchronized'). Wartość zegara nadawania może wynosić poniżej 1ms tylko w trybie pracy czasu rzeczywistego RT lub IRT.



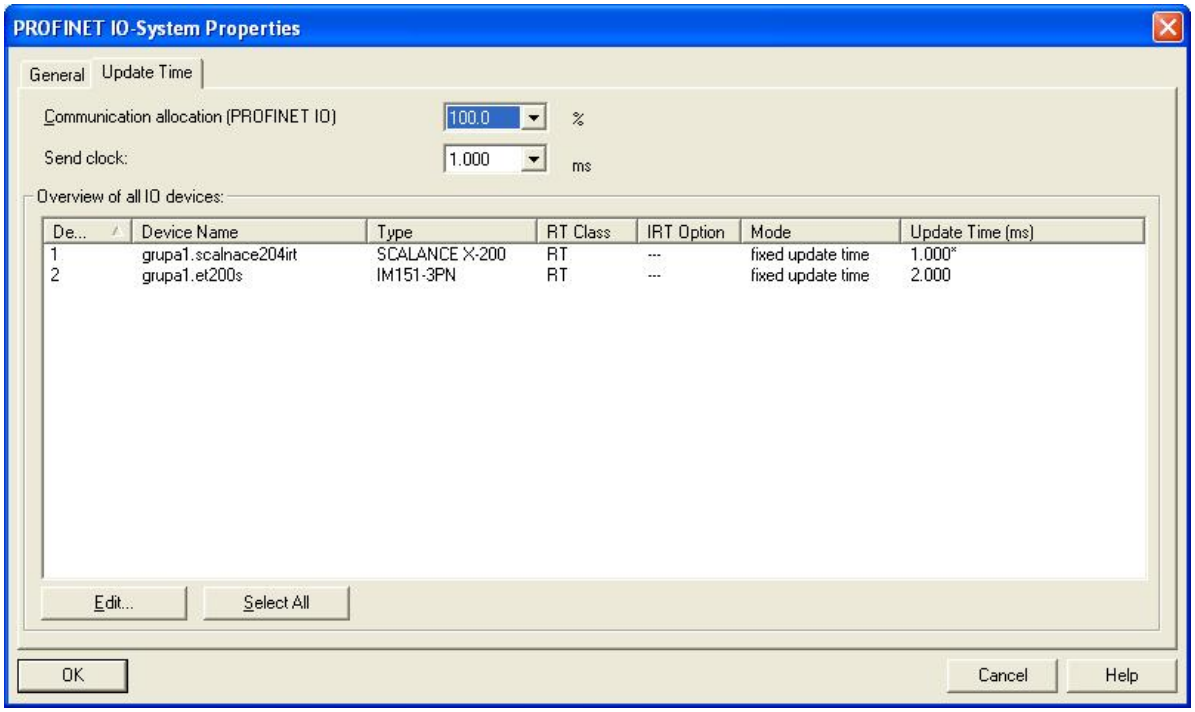
Rys. 4.11. Edycja zegara nadawania stacji IO-Controller, zakładka PN-IO/Object Properties/PROFINET

Ustawienie cyklu odświeżania informacji dla przykładowej stacji IO-Device jest ustawiany w oknie Properties/IO Cycle/Update Time, (rysunek 4.12).



Rys. 4.12. Ustawienie czasu odświeżania stacji IO-Device, zakładka Properties/IO Cycle/Update Time

Podgląd czasów odświeżania wszystkich stacji IO-Device oraz zegara nadawania sterownika IO-Controller jest możliwy poprzez wybór właściwości magistrali sieci, zakładka Object Properties/Update Time, (rysunek 4.13).

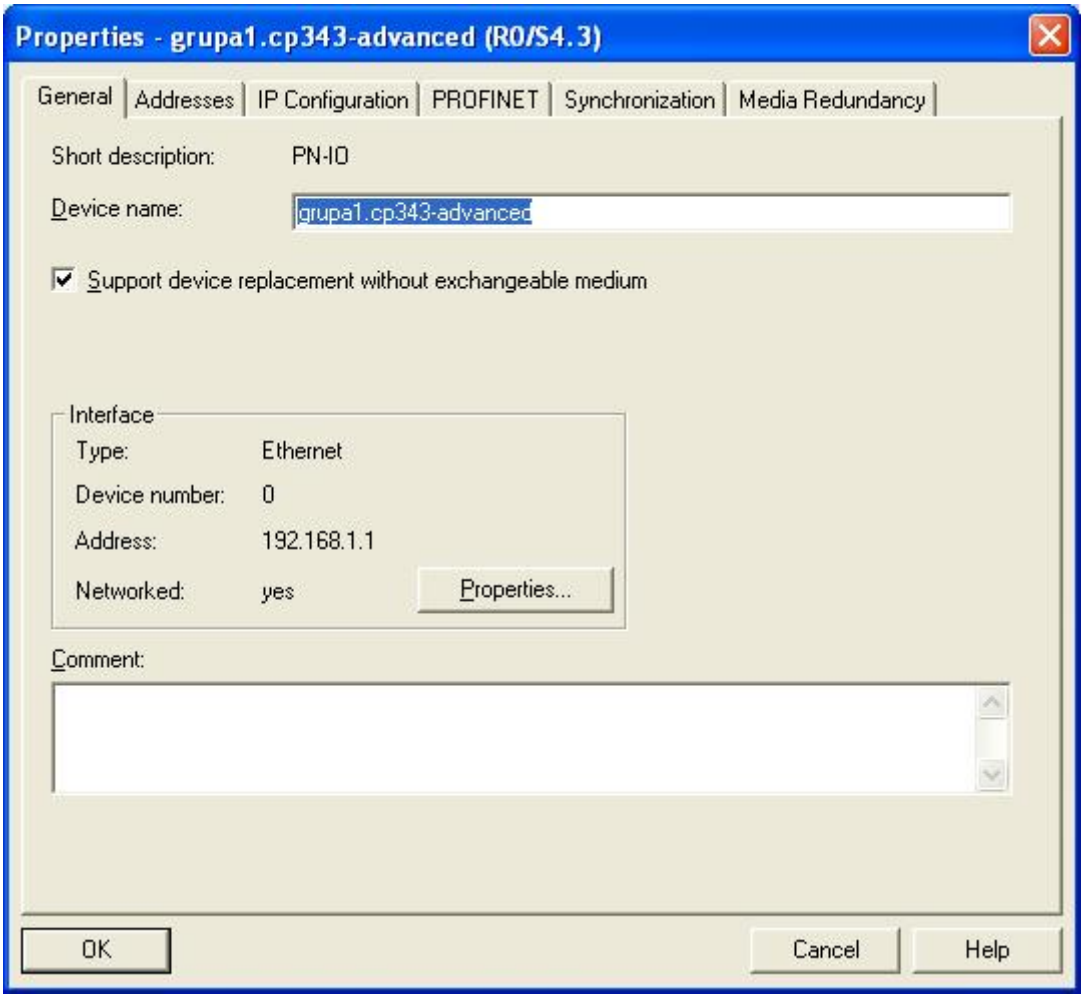


Rys. 4.13. Okno właściwości magistrali sieci, zakładka Object Properties/Update Time

4.5. Konfiguracja parametrów urządzeń IO

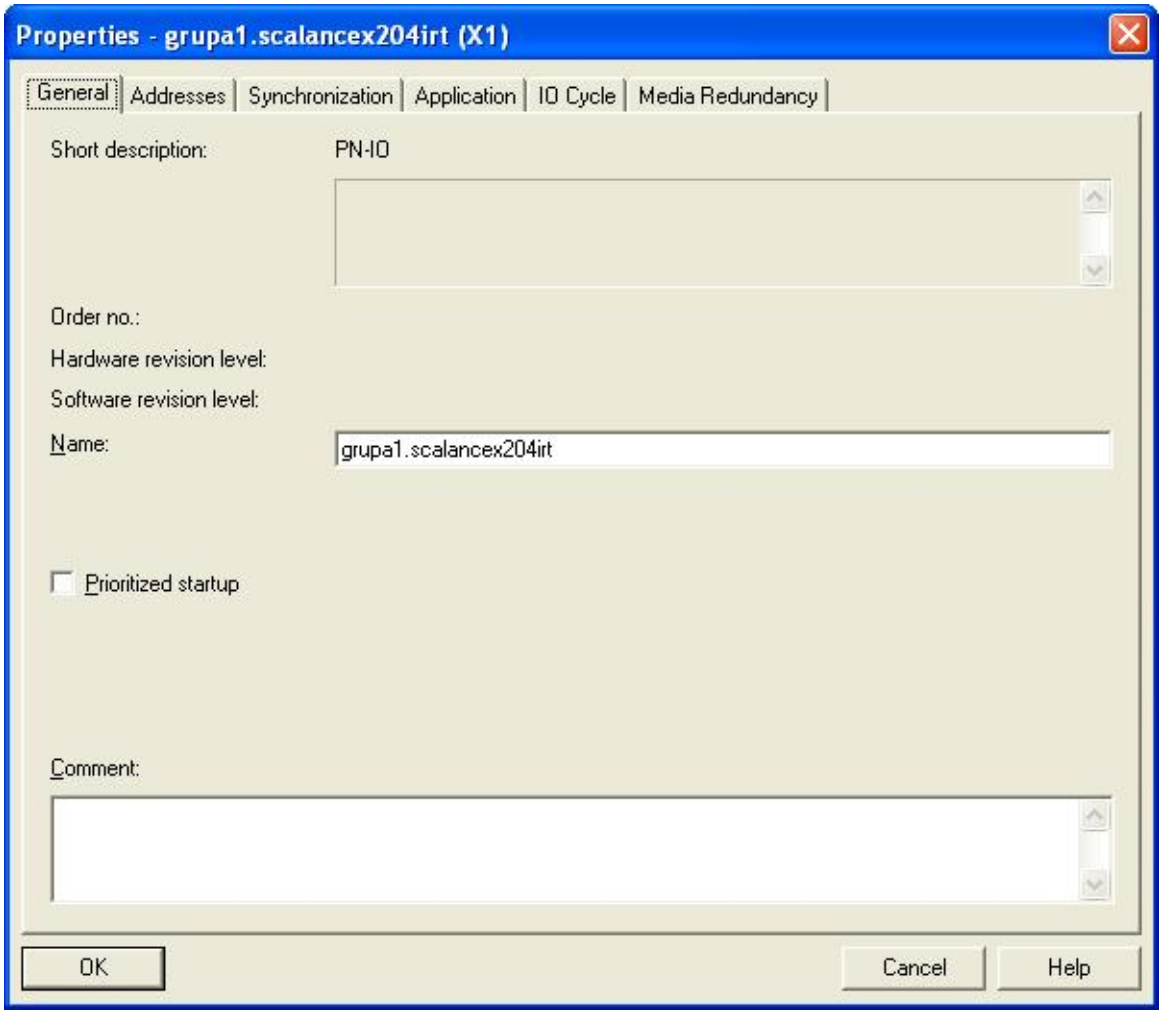
Okno parametrów urządzenia IO-Controller, ma następujące zakładki:

- 'General' – przypisanie nazwy urządzenia,edycji adresu IP, edycji Maski podsieci (ang. *subnet mask*) oraz bramy (ang. *gateway*), przedstawiono na rysunku 4.14,
- 'Addresses' – edycja adresu diagnostycznego interfejsu oraz samego sterownika IO-Controller,
- 'IP Configuration' – ustawienie sposobu przydzielania adresu IP urządzenia w sieci PROFINET IO,
- 'PROFINET' – ustawienie zegara nadawania, rozdzielnia natężenia komunikacji pomiędzy PROFINET IO i PROFINET CBA, ustawienia trybu pracy urządzenia IO-Controller oraz włączenia wywołania bloku OB82 dla alarmów komunikacji,
- 'Synchronization' – włączenie trybu synchronicznego, włączenie trybu pracy RT, IRT high flexibility,
- 'Media Redundancy' – konfiguracja protokołu MRP (ang. *Media Redundancy Protocol*) dla sterownika IO-Controller.



Rys. 4.14. Parametry urządzenia IO-Controller, zakładka PN-IO/Object Properties

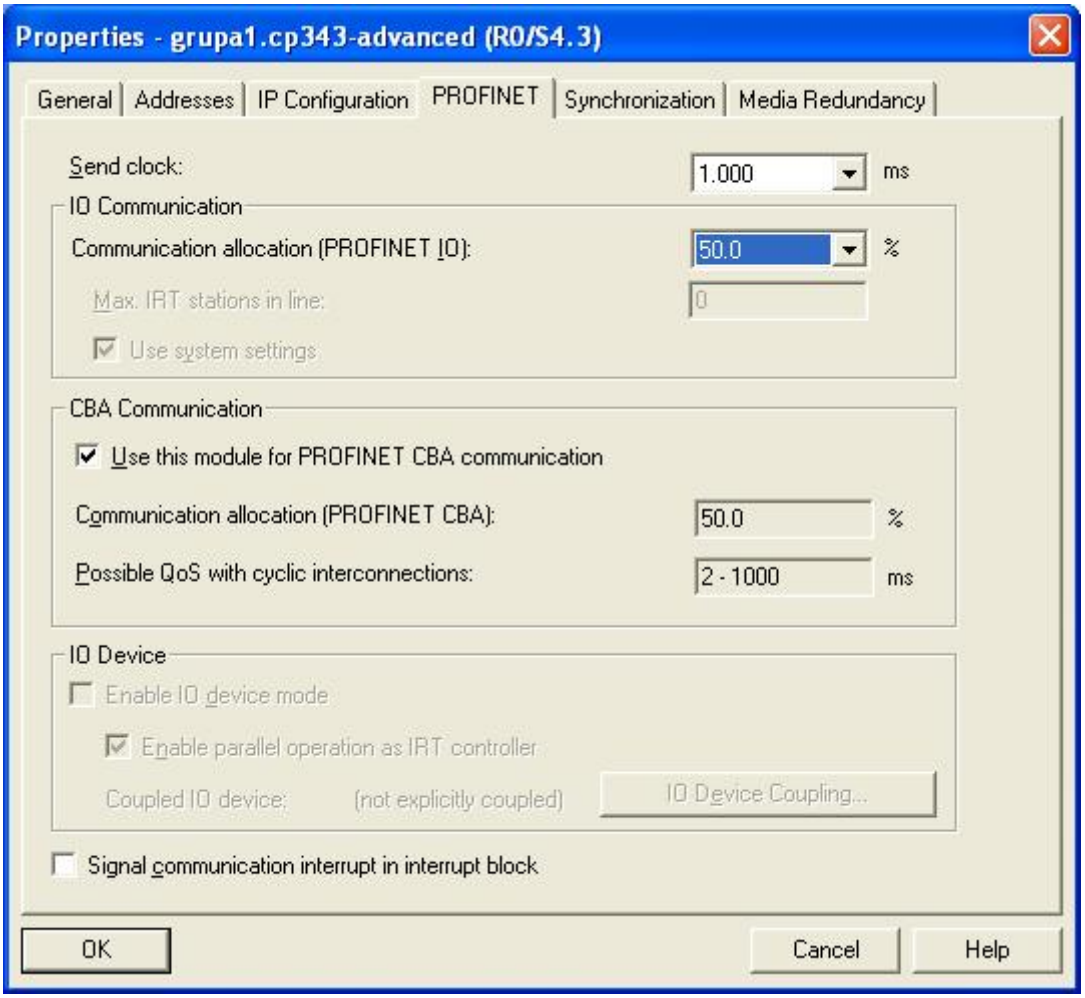
Parametry urządzenia IO-Device są podobne do zdefiniowanych dla IO-Controller, (rysunek 4.15).



Rys. 4.15. Parametry urządzenia IO-Device, zakładka PN-IO/ObjectProperties

4.6. Konfiguracja PROFINET CBA

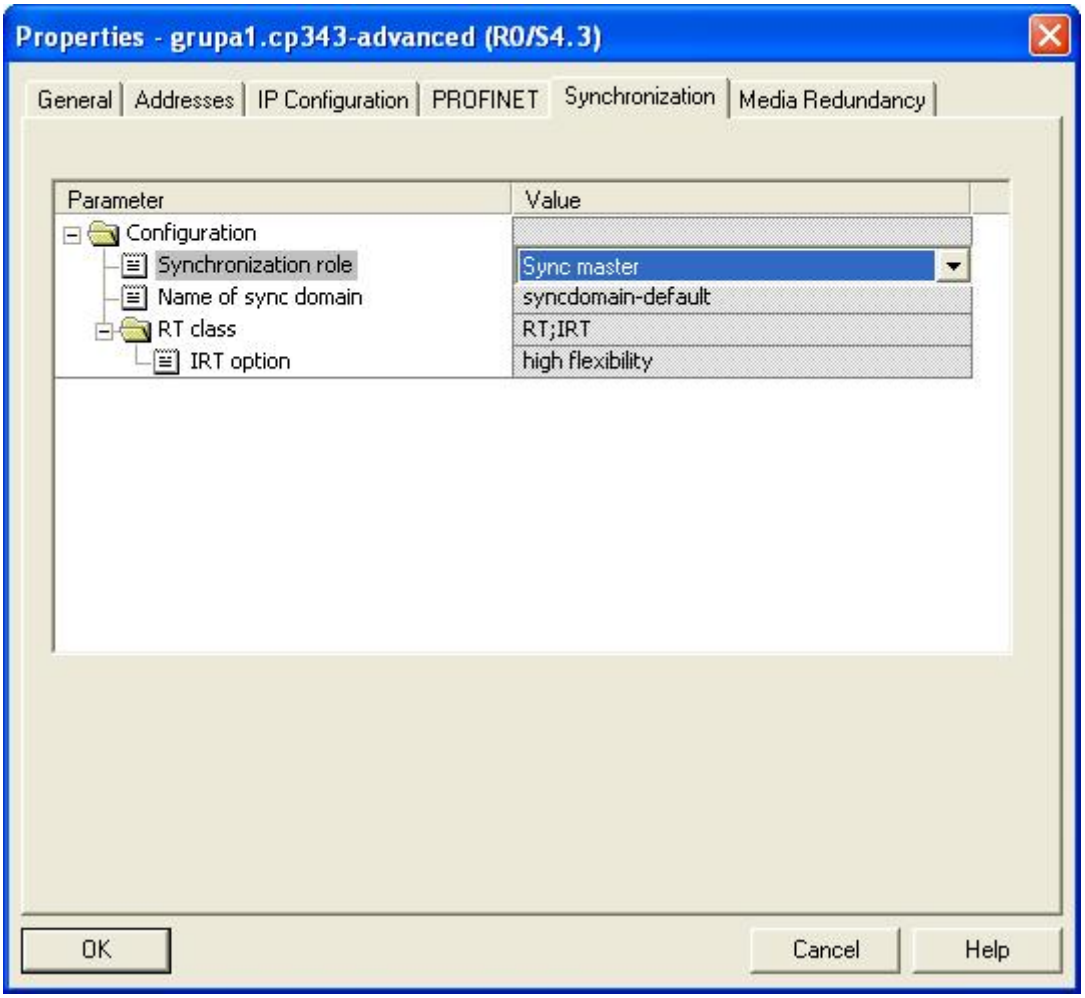
Włączenie sieci PROFINET CBA (ang. *Component Based Automation*) polega na rozdzieleniu natężenia sieci pomiędzy PROFINET IO a PROFINET CBA, (rysunek 4.16).



Rys. 4.16. Parametry urządzenia IO-Controller, zakładka PN-IO/ObjectProperties/PROFINET

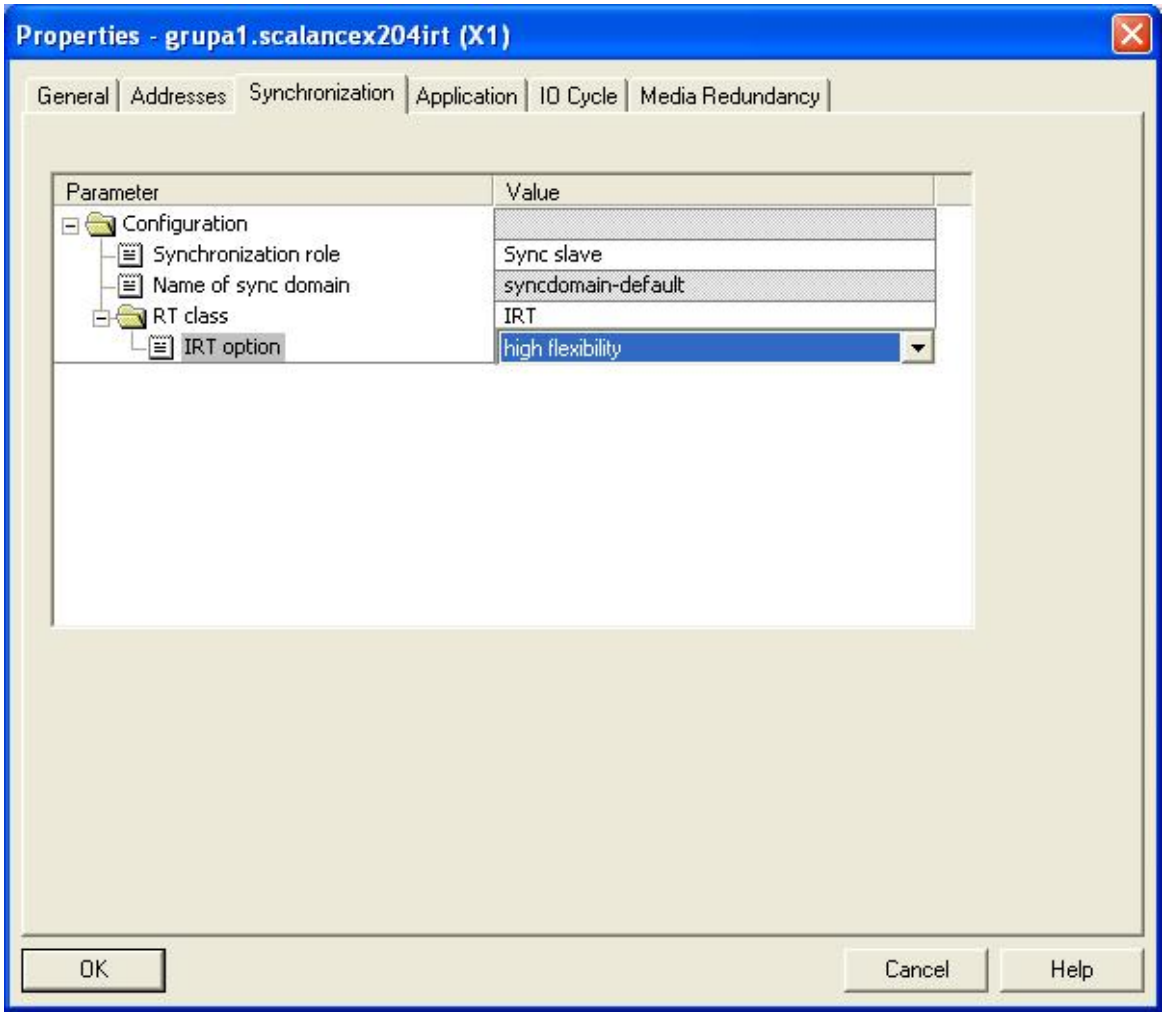
4.7. Konfiguracja trybu IRT sieci PROFINET IO, topologia sieci

Konfiguracja komunikacji IRT polega na włączeniu tego trybu pracy w sterowniku IO-Controller poprzez ustawienie 'RT class' na IRT. Polega to na włączeniu opcji 'Sync master', (rysunek 4.17).



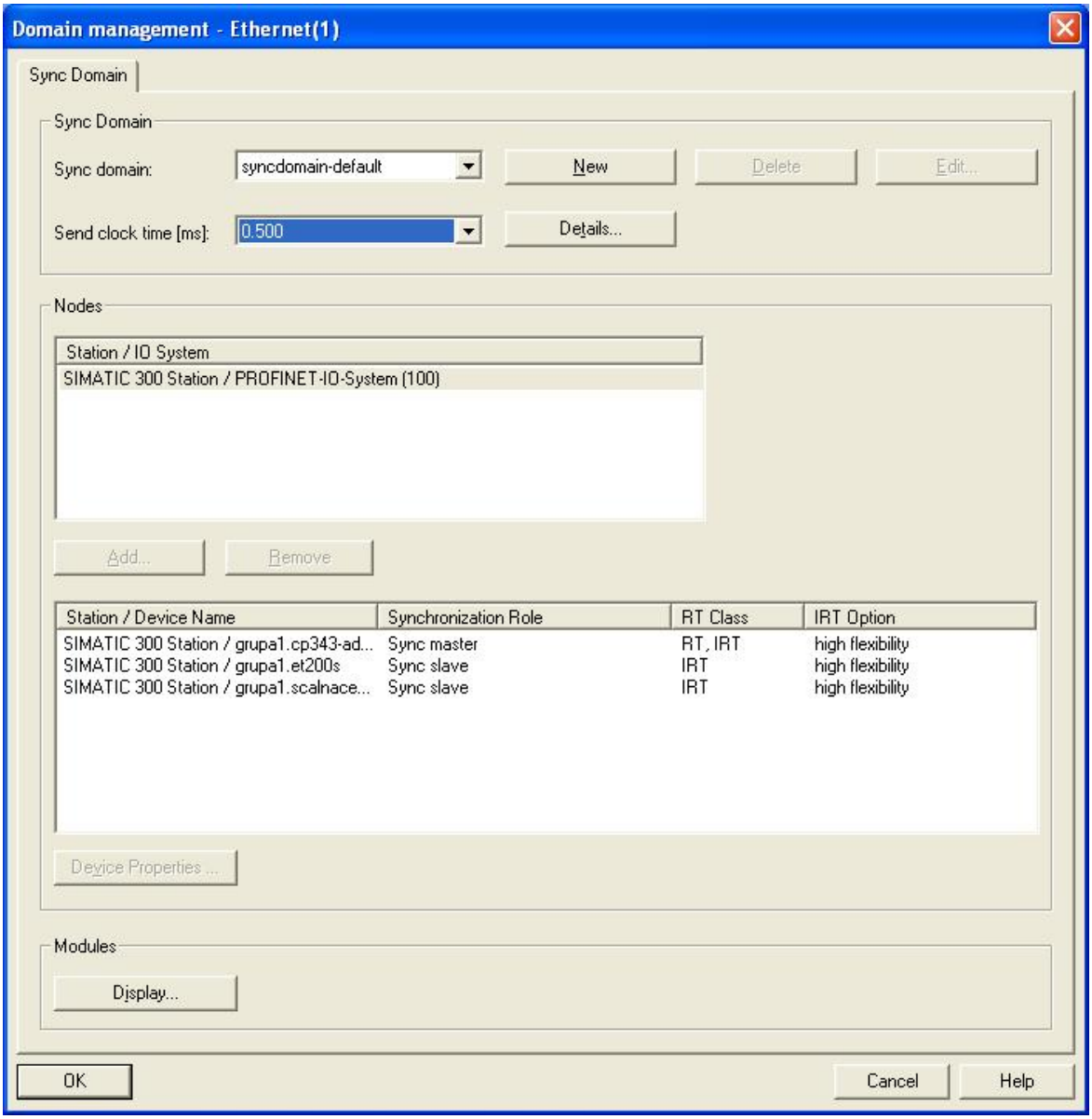
Rys. 4.17. Parametry urządzenia IO-Controller, zakładka PN-IO/ObjectProperties/Synchronization

Kolejnym krokiem jest konfiguracja IRT na dodanym urządzeniu do sieci typu IO-Device. W tym przypadku polega to na włączeniu opcji 'Sync slave'. W obu przypadkach istnieją dwie opcje pracy, pierwsza czasu rzeczywistego RT i druga czasu rzeczywistego z synchronizacją zegara w wszystkich urządzeniach IRT. Tryb pracy IRT ma dwie opcje pierwsza to 'high flexibility', a druga to 'high performance'. Ustawienie tych opcji przedstawiono na rysunku 4.18.



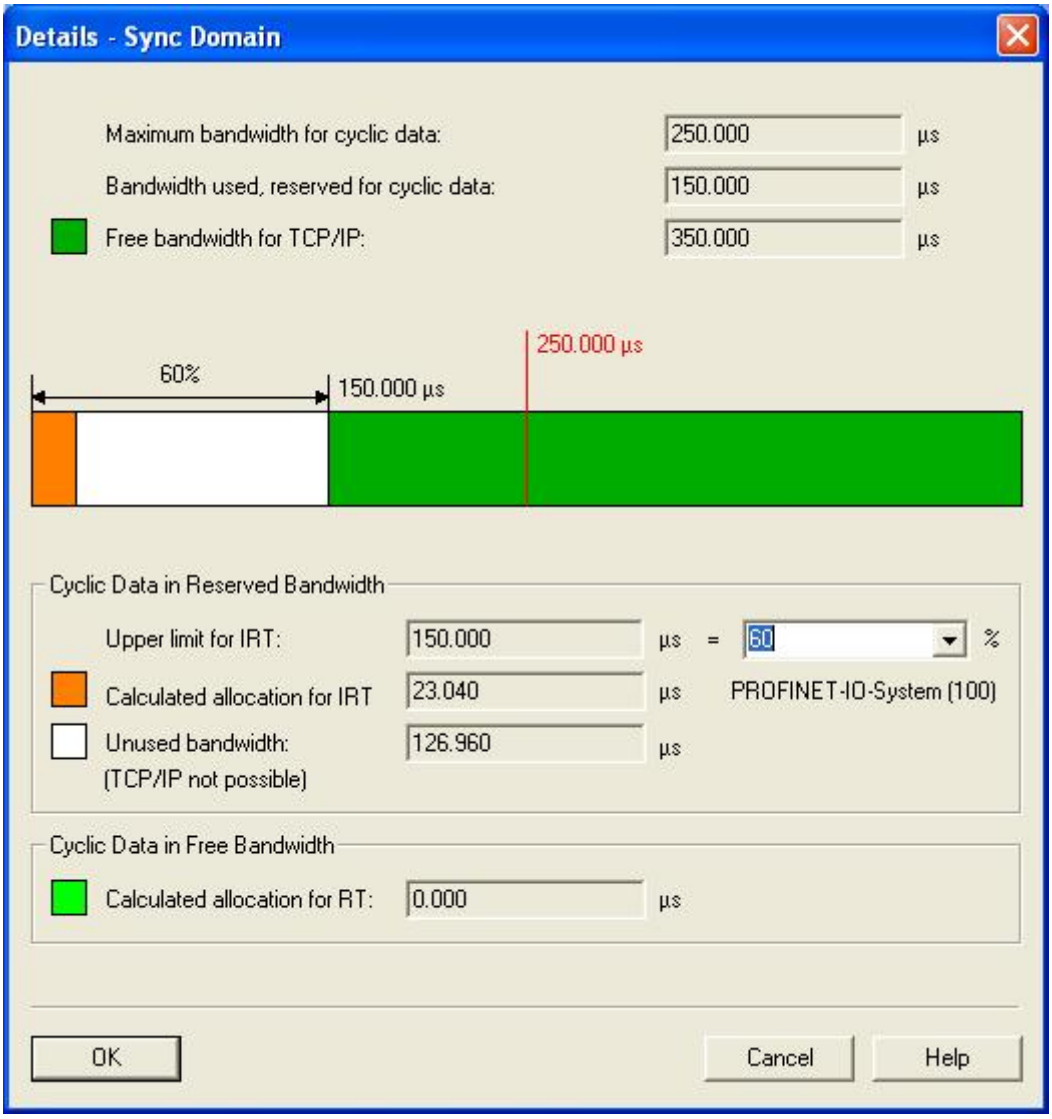
Rys. 4.18. Parametry urządzenia IO-Device, zakładka PN-IO/ObjectProperties/Synchronization

Sprawdzenie ustawienia sieci PROFINET IO do pracy w trybie IRT można sprawdzić poprzez otwarcie zakładki Edit/PROFINET IO/Domain Managment. Okno pozwala na ustawienie zegara nadawania dla trybu pracy RT lub IRT w ramach urządzeń danej domeny. Wartość zegara nadawania może być mniejsza od 1ms. Nazwa domeny dla 'Sync domain' jest nadawana automatycznie przez środowisko STEP 7 jako wartość 'syncdomain-default'. Okno pozwala na tworzenie nowych domen i nadawania im własnych nazw, (rysunek 4.19).



Rys. 4.19. Domena sieci PROFINET IO, zakładka Edit/PROFINET IO/Domain Managment

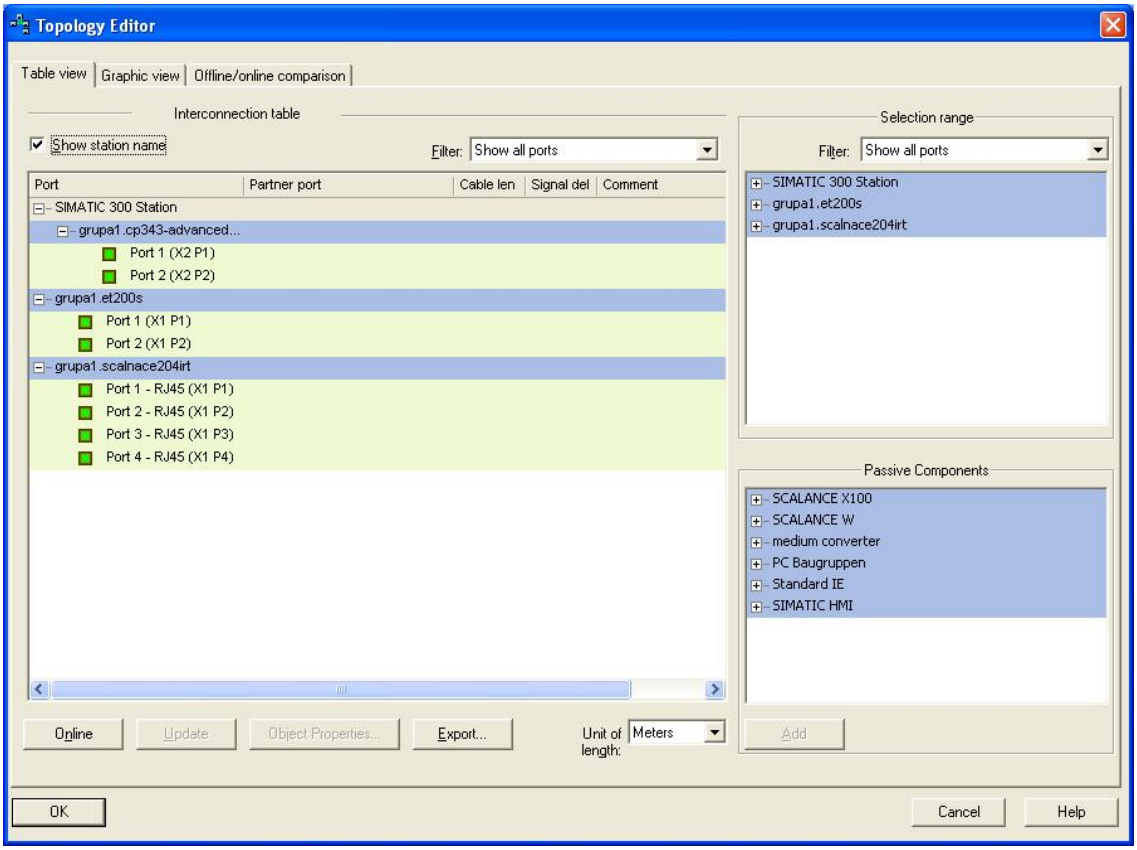
Kolejnym krokiem konfiguracji pracy sieci w czasie rzeczywistym jest ustawienie zarezerwowanego pasma transmisji dla IRT (przycisk 'Details'), (rysunek 4.20). Pasmo czasu dla transmisji IRT można ustawić maksymalnie do 50% wartości zegara nadawania. Pozostała połowa jest zarezerwowana dla transmisji TCP/IP.



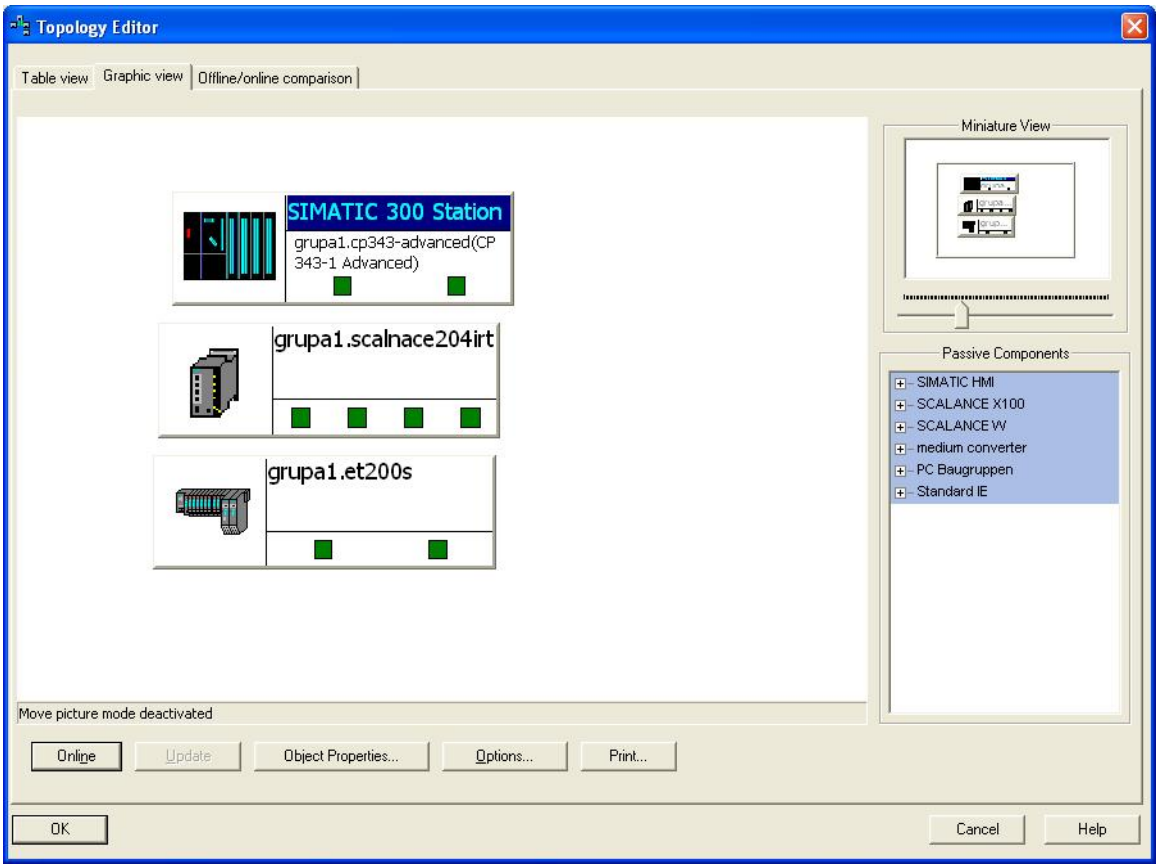
Rys. 4.20. Domena sieci PROFINET IO, zakładka Edit/PROFINET IO/Domain Managment/Details

Wykorzystanie trybu pracy IRT 'high performance' wymaga zdefiniowania topologii sieci (rysunki 4.21÷4.23). Jest to wymagane ze względu na kompilator urządzenia IO-Controller, który musi generować listę zadań dla poszczególnych urządzeń IO-Device z określeniem, która i w jakim momencie powinna wysyłać dane.

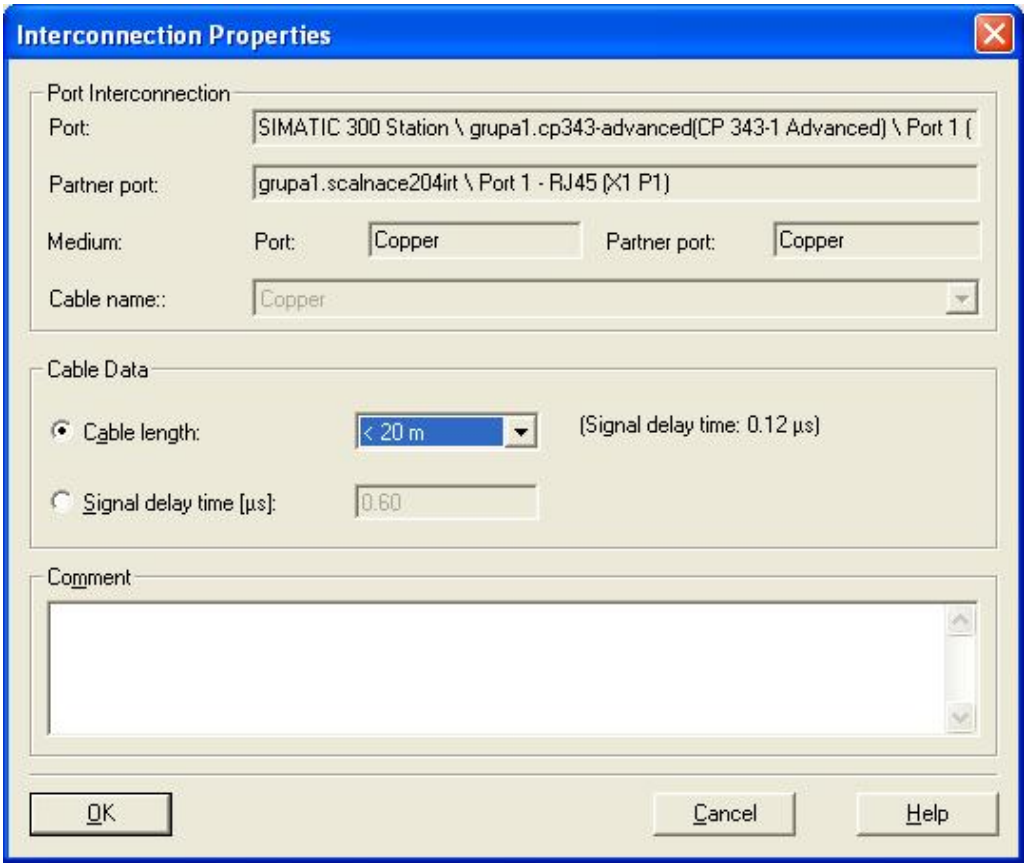
Definicja topologii sieci jest możliwa poprzez uruchomienie edytora topologii dostępnego w zakładce Edit/PROFINET IO/Topology. Okno topologii ma kilka interfejsów. Pierwszy 'Table view' wyświetla zestawienie urządzeń i ich portów w sieci. Pozwala na wyświetlenie podłączonych i nie podłączonych portów. Drugi to interfejs graficzny 'Graphic view', który pozwala na graficzne zestawienie/połączenie poszczególnych portów urządzeń zgodnie z konfiguracją sprzętową. Podczas wykonywania połączeń w oknie 'Interconnection Properties' można sprecyzować parametry medium transmisji (rodzaj i długość kabla komunikacyjnego).



Rys. 4.21. Topologia sieci, zakładka Edit/PROFINET IO/Topology/Table view

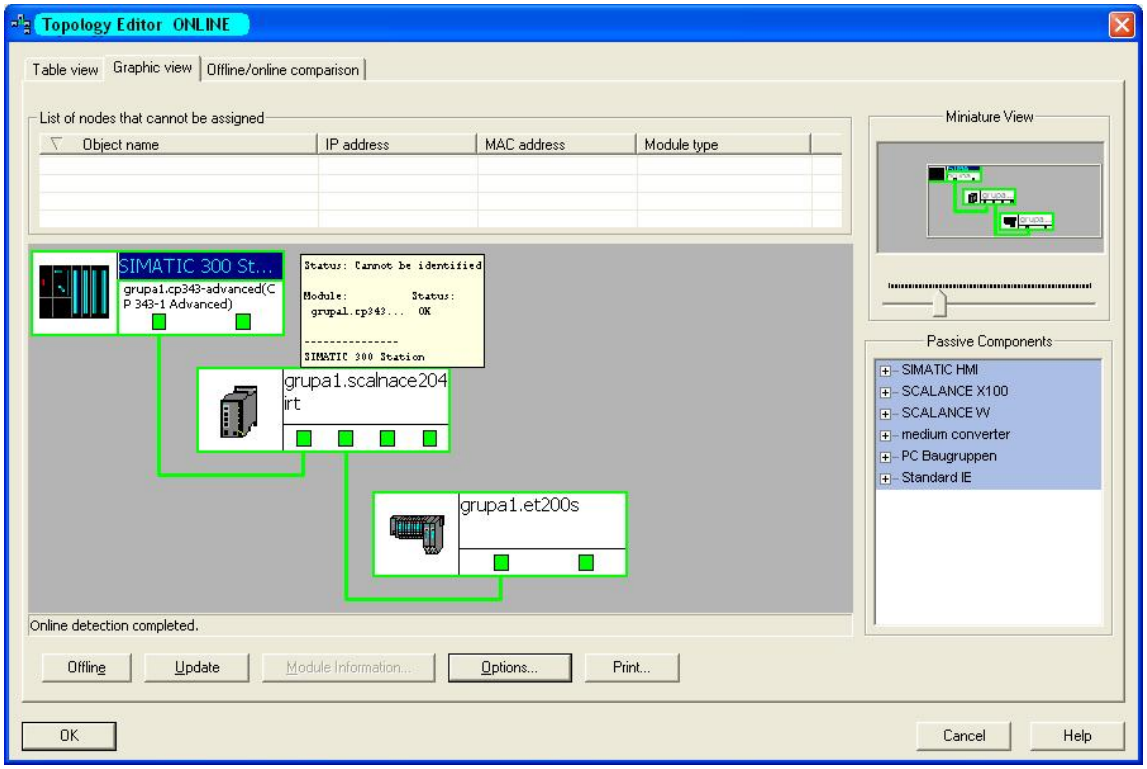


Rys. 4.22. Topologia sieci, zakładka Edit/PROFINET IO/Topology/Graphic view



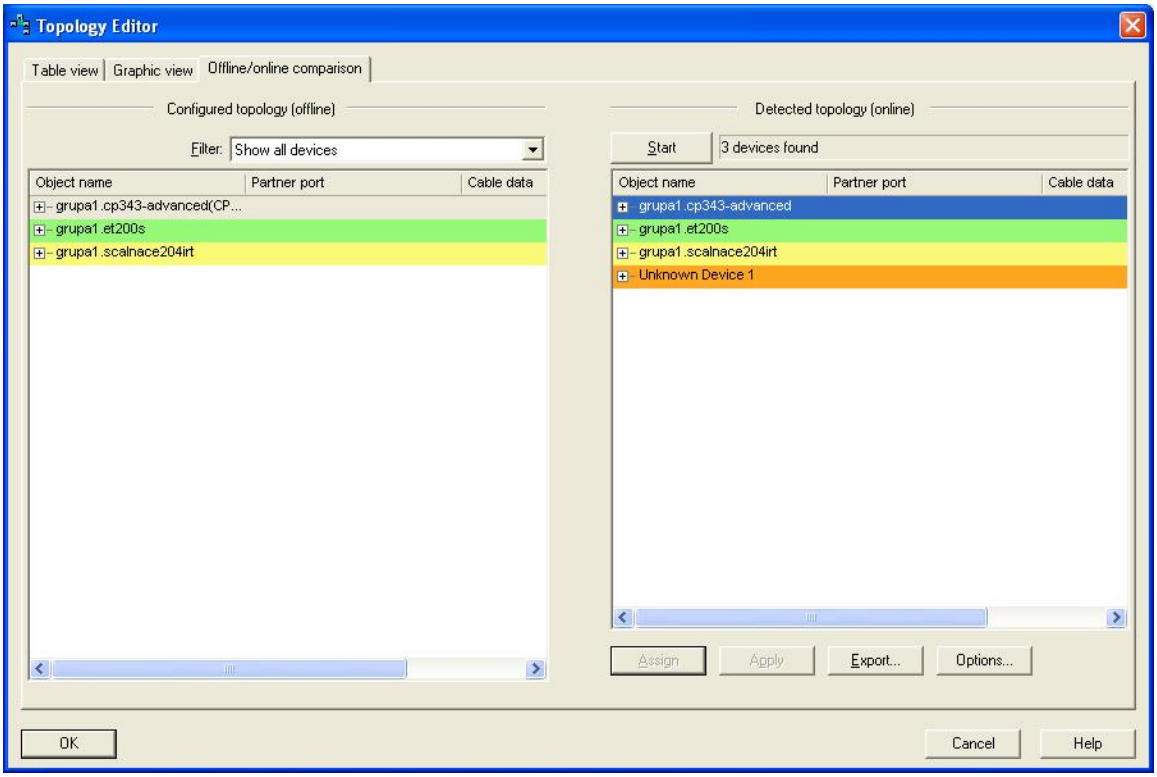
Rys. 4.23. Topologia sieci, zakładka Edit/PROFINET IO/Topology/Graphic view/Interconnection Properties

Zdefiniowana topologia sieci musi być załadowana do pamięci urządzenia IO-Controller. Interfejs graficzny okna topologii sieci pozwala także na pracę w trybie on-line. Co może być wykorzystane do identyfikacji poprawności połączeń urządzeń. Podgląd połączeń topologii sieci przedstawiono na rysunku 4.24.



Rys. 4.24. Topologia sieci, zakładka Edit/PROFINET IO/Topology/Graphic view/Online

Ostatnia zakładka edytora topologii 'Offline/online comparison' (rysunek 4.25) pozwala na porównanie konfiguracji topologii sieci zdefiniowanej z rzeczywistą. Wszelkie niezgodności są zaznaczane kolorem żółtym, a błędy kolorem czerwonym. Błędy te mogą wystąpić jeżeli stacja PC jest połączona do sieci np. poprzez 'switch', tak jak w bieżącym przykładzie.



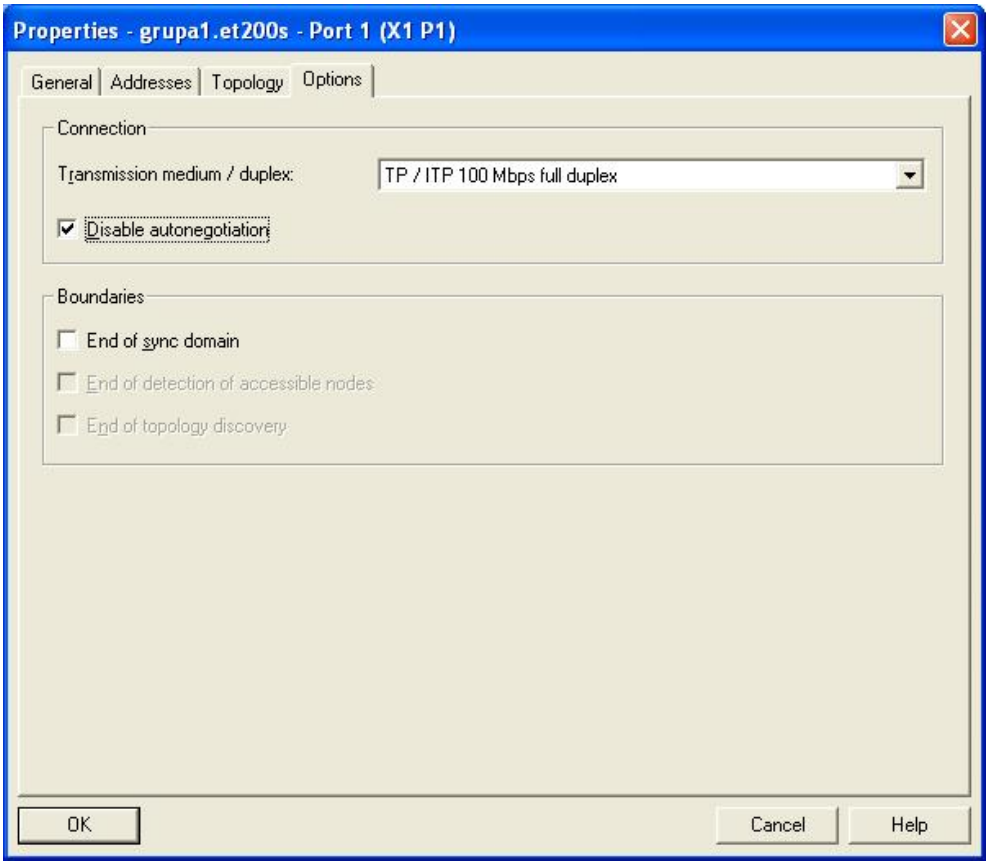
Rys. 4.25. Topologia sieci, zakładka Edit/PROFINET IO/Topology/Offline/Online comparison

Praca w trybie IRT z skonfigurowaną konfiguracją jest realizowana poprawnie, jeżeli konfiguracje urządzeń IO-Device nie ingerują w zdefiniowaną topologię dla IRT. Częstym problemem komunikacji może być włączenie np. 'mirrored port' w urządzeniu 'switch'. Zagadnienie to będzie omawiane w kolejnym rozdziale dotyczącym szybkiego restartu stacji.

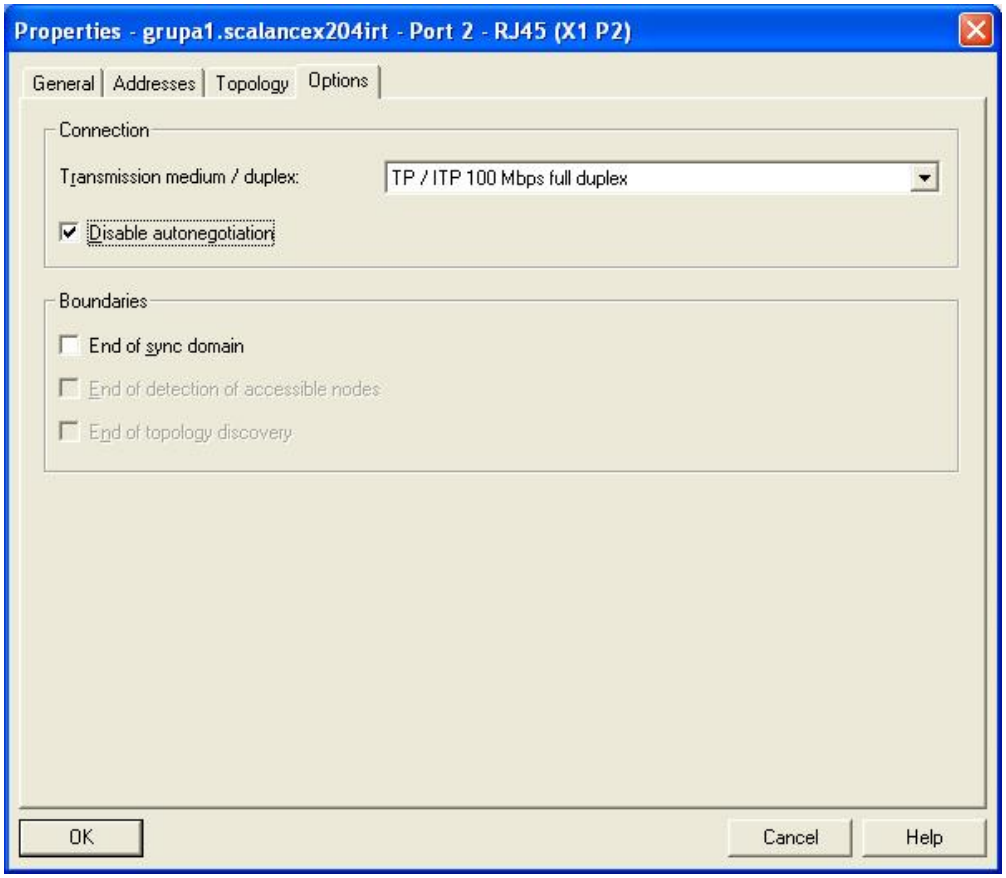
4.8. Konfiguracja szybkiego restartu stacji w sieci PROFINET IO

Szybkie uruchomienie stacji np. po włączeniu zasilania polega na przejściu stacji w tryb pracy/gotowości w czasie poniżej 500ms. Należy przy tym zauważyć, że czas standardowego uruchamiania stacji w sieci może wynieść nawet do 10s. W celu zrealizowania szybkiego restartu danej stacji IO-Device (stacja A) połączonej z stacją B w sieci należy:

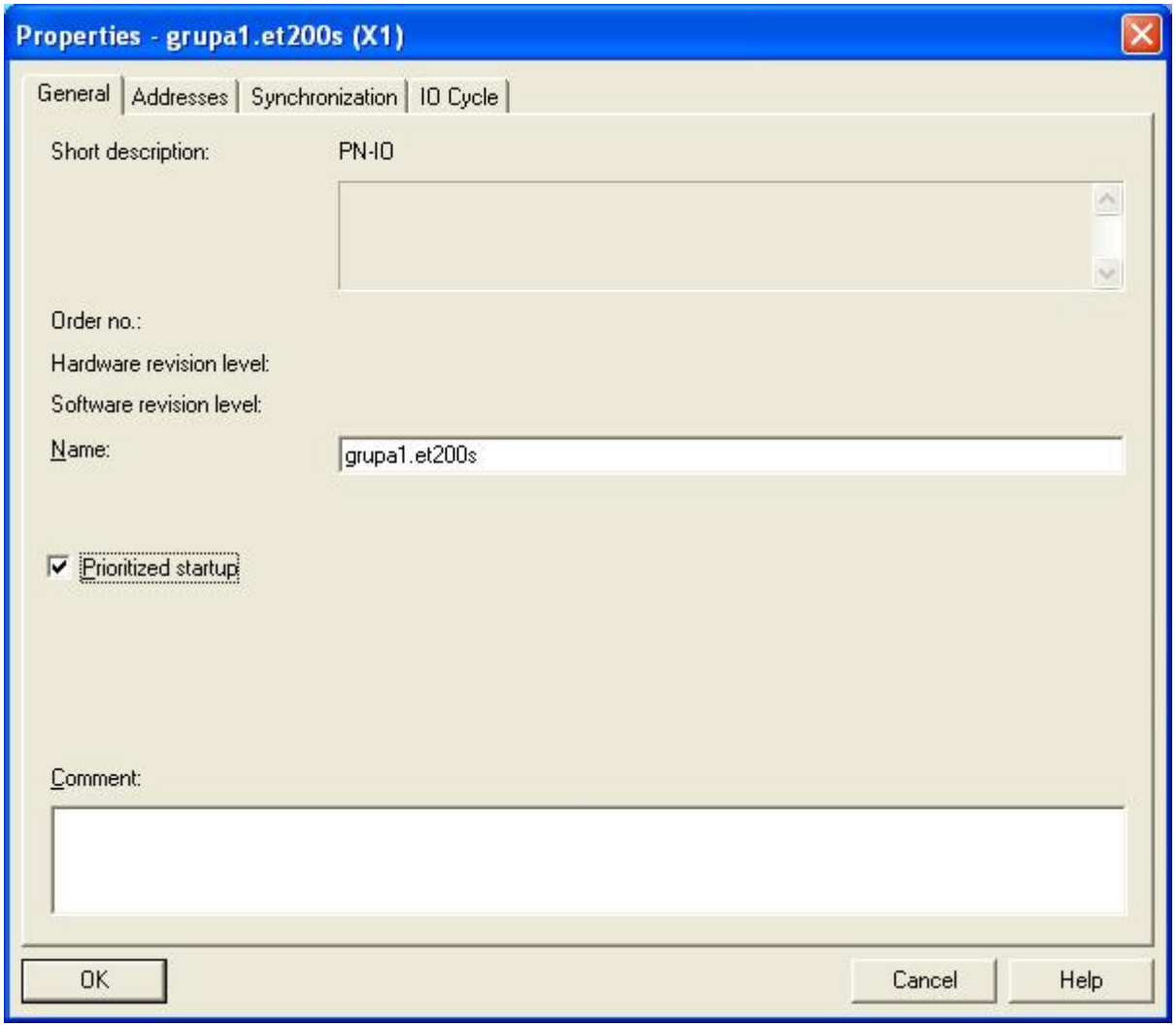
- wyłączyć autonegocjację oraz ustawić medium transmisji na 100 Mbps full duplex dla portu stacji A i portu stacji B, zakładka Port danego urządzenia/Object Properties/Options/Connection (rysunki 4.26 i 4.27),
- włączyć funkcję 'Prioritized startup' dla stacji A, zakładka PN-IO/Object Properties/Prioritized startup (rysunek 4.28),
- użyć skrosowanego kabla komunikacyjnego między portami stacji A i stacji B.



Rys. 4.26. Edycja połączenia stacji (A) IO-Device, zakładka Port P1/Object Properties/Options/Connection



Rys. 4.27. Edycja połączenia stacji (B) IO-Device, zakładka Port P1/Object Properties/Options/Connection

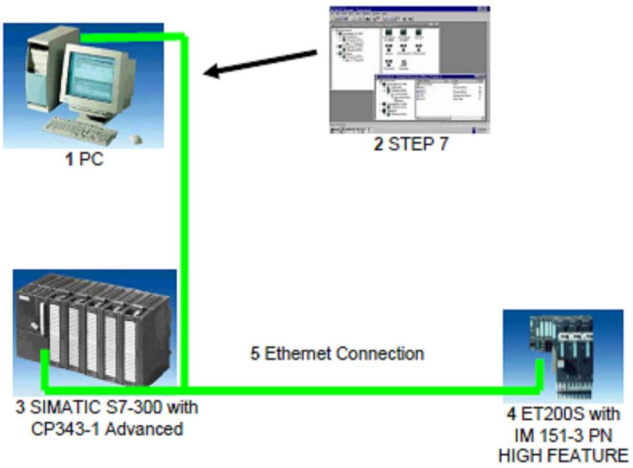


Rys. 4.28. Włączenie szybkiego startu stacji IO-Device, zakładka PN-IO/Object Properties/General

Test szybkiego startu stacji IO-Device poprzedzony jest poprawną kompilacją konfiguracji w 'HW Config' i jej załadowaniem do urządzenia IO-Controller.

4.9. Programowanie cyklicznej wymiany danych procesowych w sieci PROFINET IO

Ten rozdział zawiera opis komunikacji w sieci PROFINET IO, gdzie jako IO-Controller został wykorzystany moduł CP343-1 Advanced. Docelowym przykładowym urządzeniem IO-Device będzie stacja ET 200S. Połączenie sieci przedstawiono na rysunku 4.29.



Rys. 4.29. Schemat połączenia

Opis parametrów FC11 i FC12.
Funkcja FC11 (PNIO_SEND) jest używana do przesyłania danych procesowych i jest wywoływana z programu użytkownika (blok OB1). Funkcja FC11 przesyła dane procesowe poprzez moduł CP do urządzeń IO-Devices. Parametry funkcji FC11 zebrano w tabeli 4.1.

Tabela 4.1. Parametry funkcji FC11 [29]

PARAMETR	TYP	DEKLARACJA	ZNACZENIE
CPLADDR	WORD	INPUT	ADRES MODUŁU CP W SIECI IO
LEN	INT	INPUT	DŁUGOŚĆ DANYCH DO PRZESŁANIA
SEND	ANY	IN_OUT	ADRES PAMIĘCI Z DANYMI DO PRZESŁANIA
IOCS	ANY	OUTPUT	BITY STATUSU FUNKCJI (EWENTUALNYCH BŁĘDÓW), JEDEN BIT STATUSU JEST PRZESYŁANY PRZE JEDEN BAJT
DONE	BOOL	OUTPUT	ZNACZNIK WYKONANIA FUNKCJI
ERROR	BOOL	OUTPUT	ZNACZNIK BŁĘDU FUNKCJI
STATUS	WORD	OUTPUT	STATUS FUNKCJI
CHECK_IOCS	BOOL	OUTPUT	HELP BIT, OZNACZAJĄCY KONIECZNOŚĆ SPRAWDZENIA STATUSU IOCS

Funkcja FC12 (PNIO_RECV) jest używana do akceptacji/odbierania danych procesowych i jest wywoływana z programu użytkownika (blok OB1). Funkcja FC12 odbiera dane procesowe poprzez moduł CP od urządzeń IO-Devices. Parametry funkcji FC12 zebrano w tabeli 4.2.

Tabela 4.2. Parametry funkcji FC12 [29]

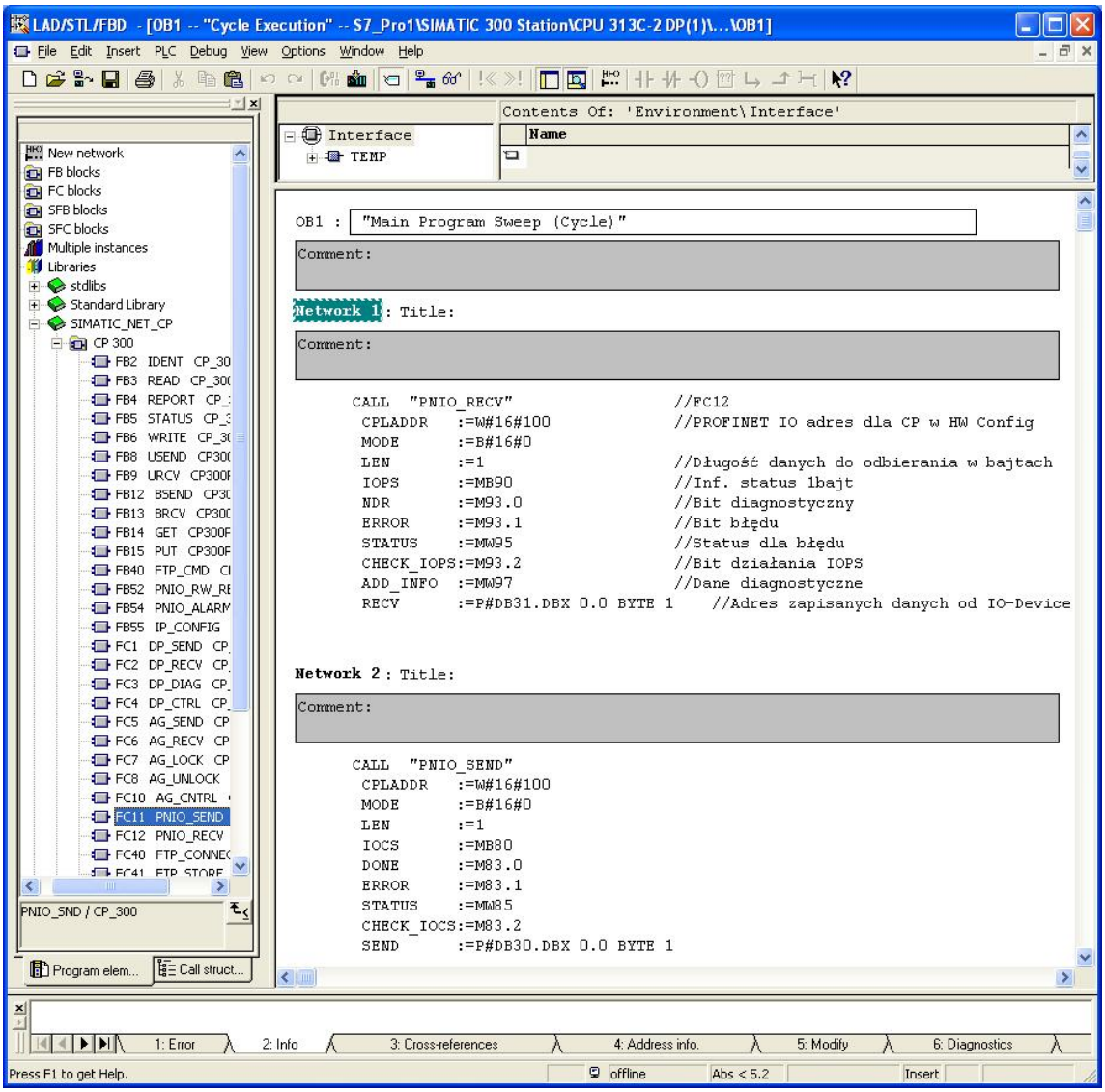
PARAMETR	TYP	DEKLARACJA	ZNACZENIE
CPLADDR	WORD	INPUT	ADRES MODUŁU CP W SIECI IO
LEN	INT	INPUT	DŁUGOŚĆ DANYCH DO ODEBRANIA
RECV	ANY	IN_OUT	ADRES PAMIĘCI DO ZAPISU DANYCH ODBIERANYCH
IOPS	ANY	OUTPUT	BITY STATUSU FUNKCJI (EWENTUALNYCH BŁĘDÓW), JEDEN BIT STATUSU JEST PRZESYŁANY PRZE JEDEN BAJT
NDR	BOOL	OUTPUT	ZNACZNIK WYKONANIA FUNKCJI
ERROR	BOOL	OUTPUT	ZNACZNIK BŁĘDU FUNKCJI
STATUS	WORD	OUTPUT	STATUS FUNKCJI

Identyfikatory błędów funkcji FC11 i FC12 oraz ich znaczenie przedstawiono w tabeli 4.3.

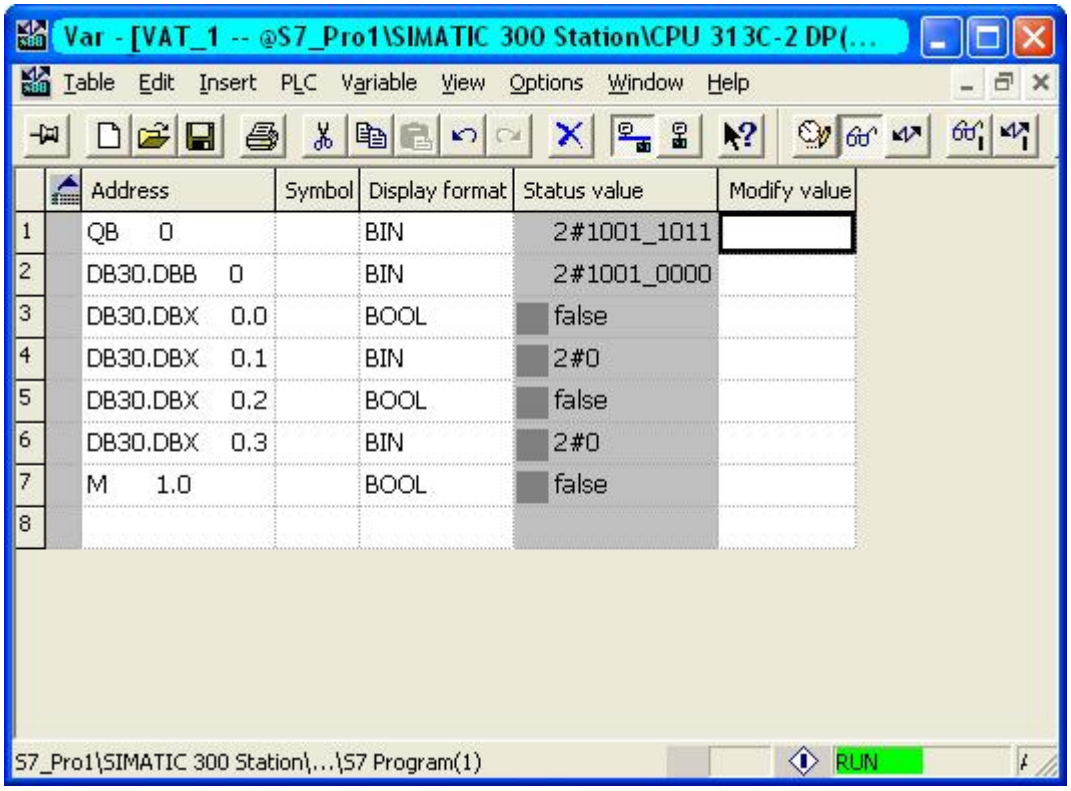
Tabela 4.3. Wybrane kody błędów FC11/FC12 i ich opis [29]

DONE/NDR	BŁĄD	STATUS W#16#...	OPIS
FALSE	TRUE	8F30	BŁĄD ZAPISU PARAMETRU FUNKCJI W PAMIĘCI
FALSE	TRUE	8F31	BŁĄD ZAPISU PARAMETRU FUNKCJI W PAMIĘCI
FALSE	TRUE	8F32	BŁĄD ADRESU TABLICY DB
FALSE	TRUE	8F3A	TABLICA DB NIE ZAŁADOWANE DO PAMIĘCI CPU
FALSE	TRUE	8F42	OPÓŹNIENIE PODCZAS ZAPISU PARAMETRU DO PAMIĘCI I/O
FALSE	TRUE	8F44	BRAK DOSTĘPU DO PARAMETRU PODCZAS ODCZYTU
FALSE	TRUE	8F7F	BŁĄD WEWNĘTRZNY, NP. BŁĘDNY TYP WYWOŁANIA
FALSE	TRUE	8090	BŁĘDNY ADRES LOGICZNY MODUŁU

Definicja funkcji FC11 i FC12 w bloku OB1 została przedstawiona na rysunku 4.30, natomiast podgląd wartości zmiennych przedstawiono na rysunku 4.31.

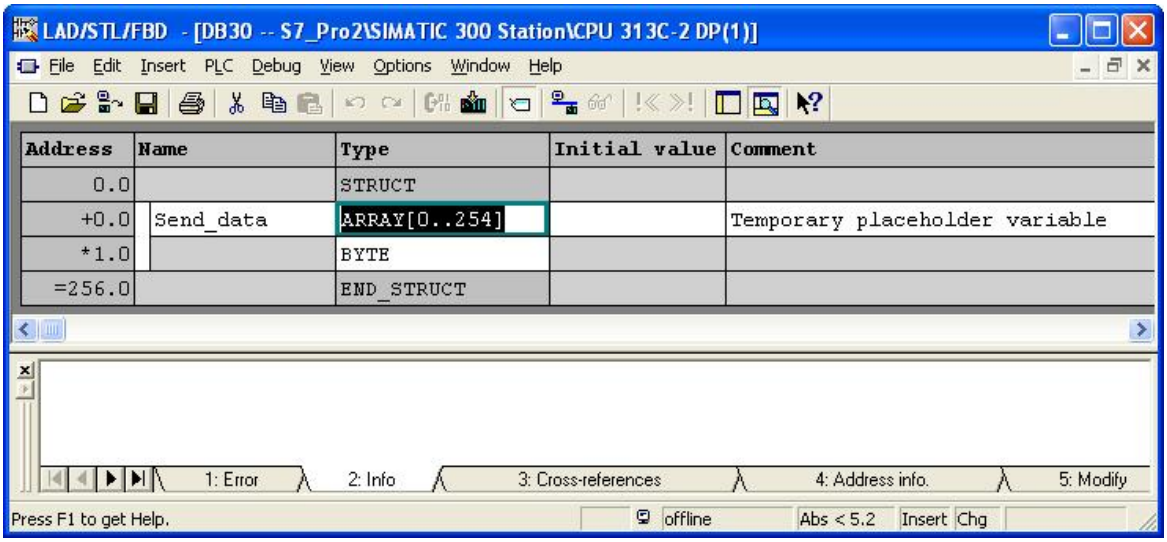


Rys. 4.30. Okno bloku OB1

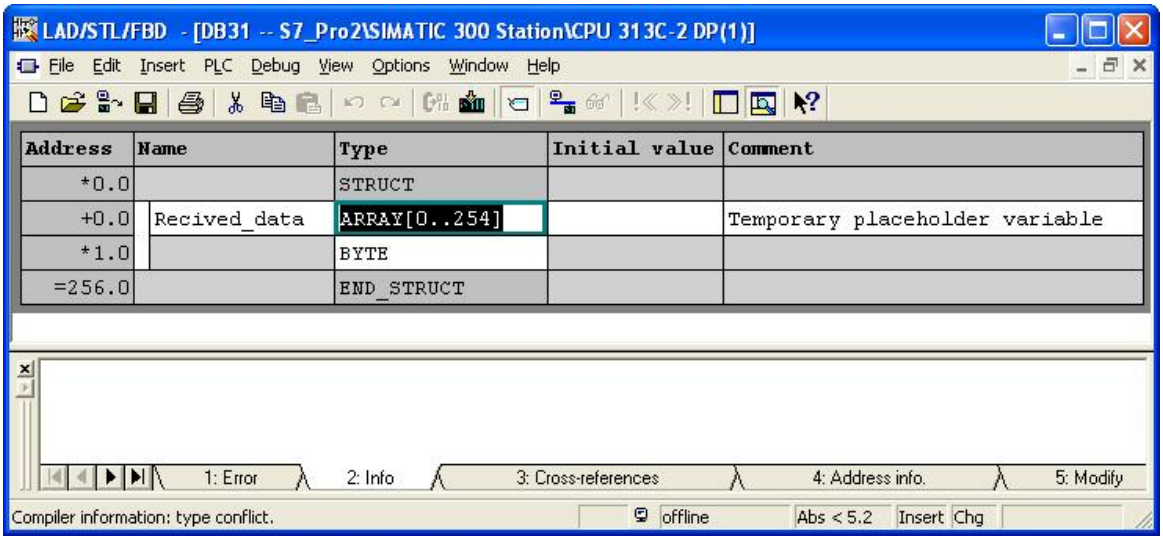


Rys. 4.31. Okno podglądu wartości zmiennych

Wymiana danych z użyciem FC11/FC12 z wykorzystaniem tablic, wymaga załadowania tablic DB30 i DB31 do pamięci sterownika. W tym celu należy poprzez zakładkę 'insert block' wstawić tablice do okna 'Simatic Manager/S7 Program/Blocks'. Przykładowa konfiguracja tablic danych została przedstawiona na rysunkach 4.32 i 4.33.

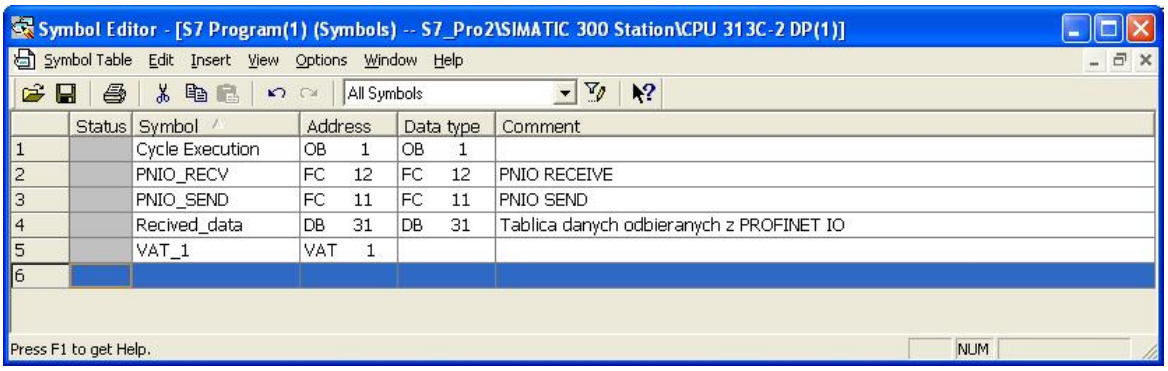


Rys. 4.32. Tablica DB30



Rys. 4.33. Tablica DB31

Wykorzystanie tablicy deklaracji zmiennych pozwala na symboliczne deklarowanie wartości parametrów funkcji FC11/FC12 (rysunek 4.34).

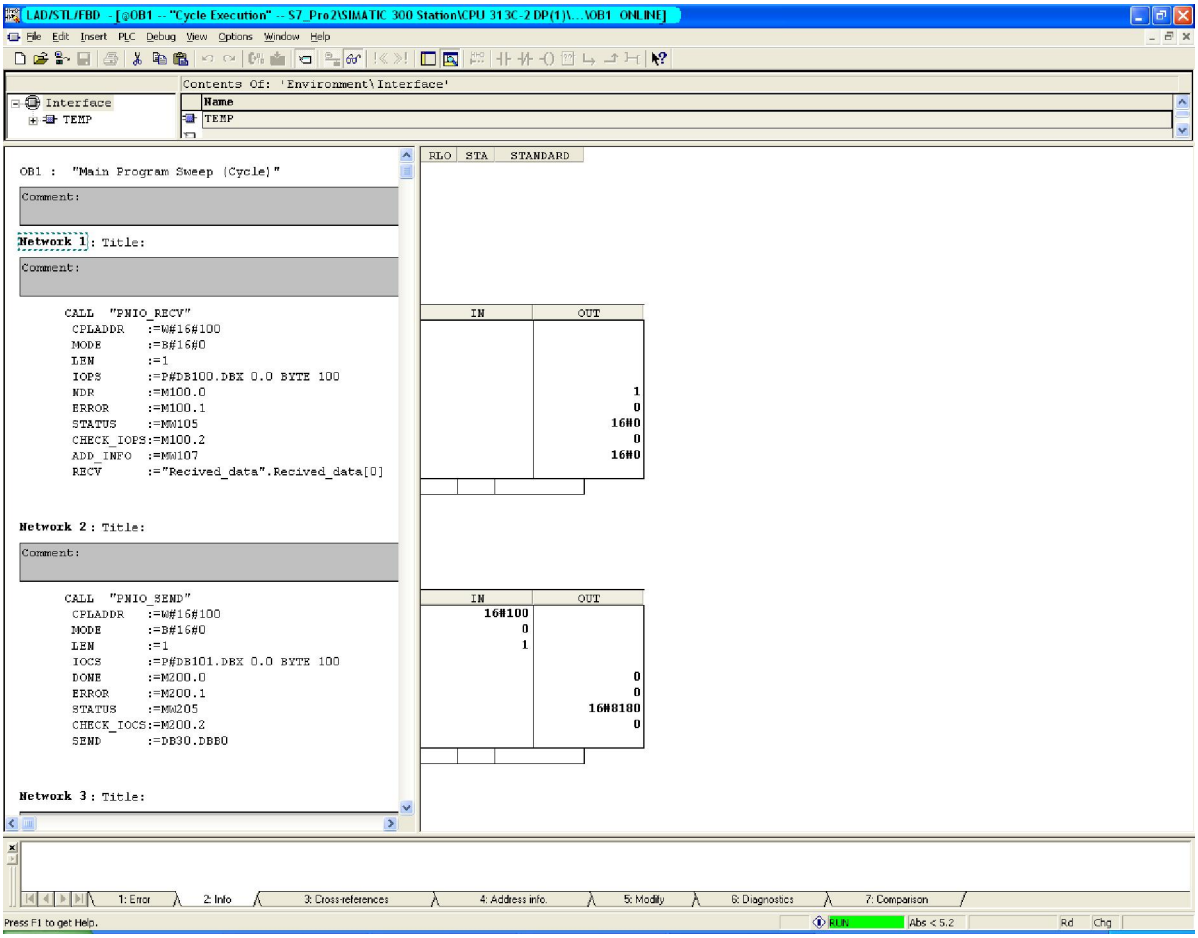


Rys. 4.34. Tablica symboli zmiennych zakładka OB1/Options/Symbol table

Wtedy, program w bloku OB1 (funkcję ‘PNIO_RECV’) można zmodyfikować następująco:

```
CALL  "PNIO_RECV"
      CPLADDR        :=W#16#100
      MODE           :=B#16#0
      LEN            :=1
      IOPS           :=P#DB100.DBX 0.0 BYTE 100
      NDR            :=M100.0
      ERROR          :=M100.1
      STATUS         :=MW105
      CHECK_IOPS     :=M100.2
      ADD_INFO       :=MW107
      RECV           :="Recived_data".Recived_data[0]
```

Okno bloku OB1 przedstawiono na rysunku 4.35.



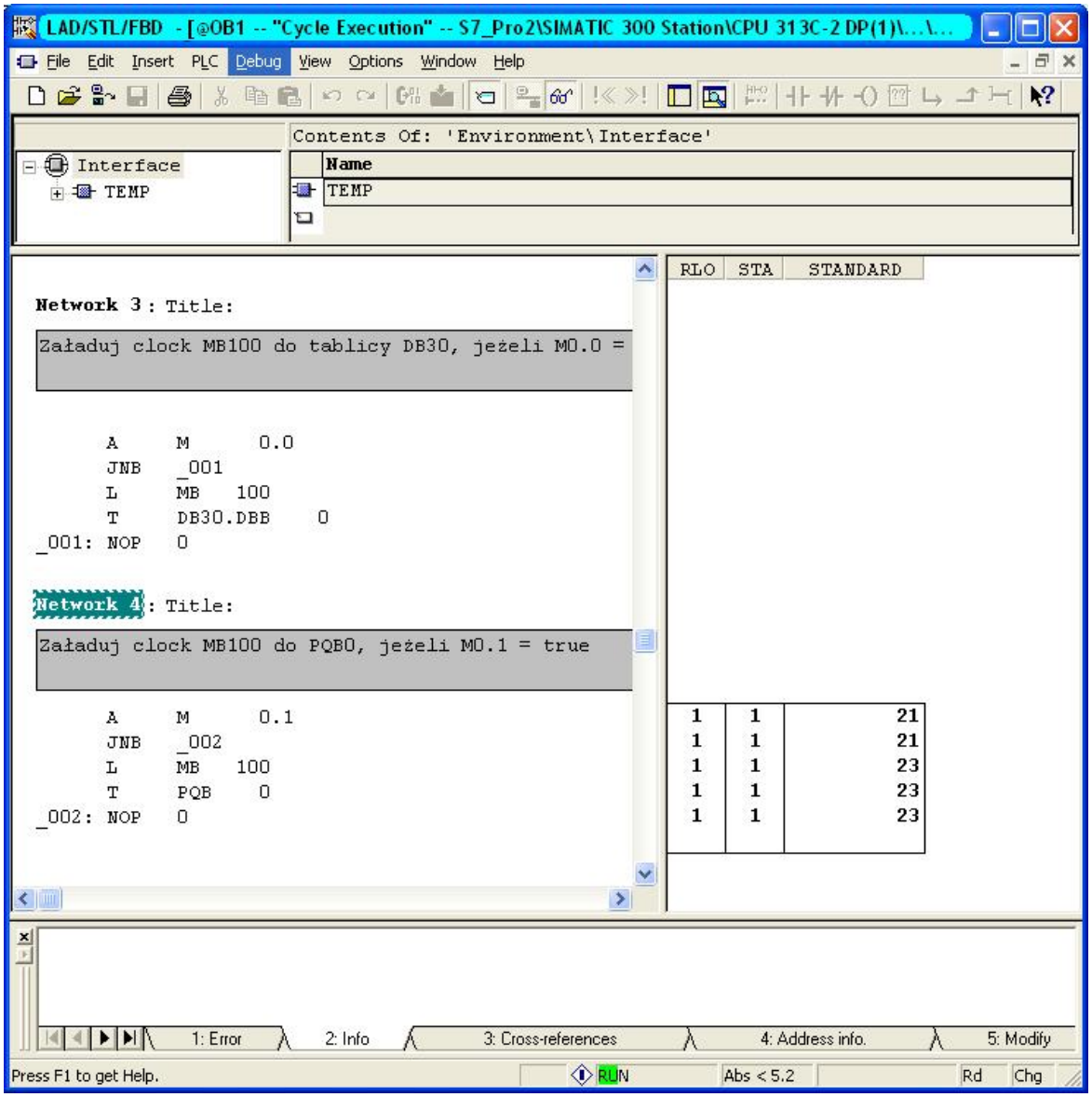
Rys. 4.35. Okno bloku OB1 z podglądem działania funkcji: FC11 i FC12

Jednym z zadań dotyczących przesyłania danych z użyciem funkcji FC11 i FC12 jest przesłanie wartości bajtu zegara CPU z IO-Controller do IO-Devices. Aby wywołać w module DO stacji ET200S stany zegara, należy w 'HW Config' w właściwościach CPU ustawić adres bajtu zegara na np. 100 w zakładce Properties/Clock. Następnie w bloku OB1 przypisać wartość bajtu zegara MB100 do bajtu tablicy DB30.DBB 0.

OB1: (if M0.0, move MB100 to DB30.DBB0, end), zapis w języku STL:

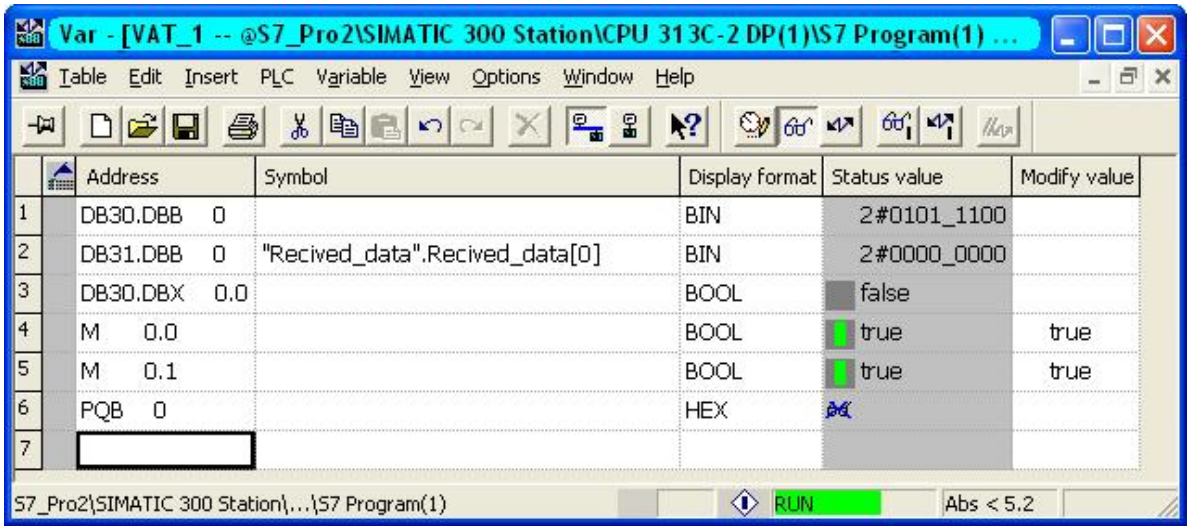
```
    A       M     0.0
    JNB     _001
    L       MB   100
    T       DB30.DBB   0
_001:       NOP   0
```

Poprawne przepisanie bajtu zegara MB100 do tablicy DB30 i na peryferyjne wyjścia (wykorzystywane np. w sieci PROFIBUS DP) przedstawiono na rysunku 4.36.



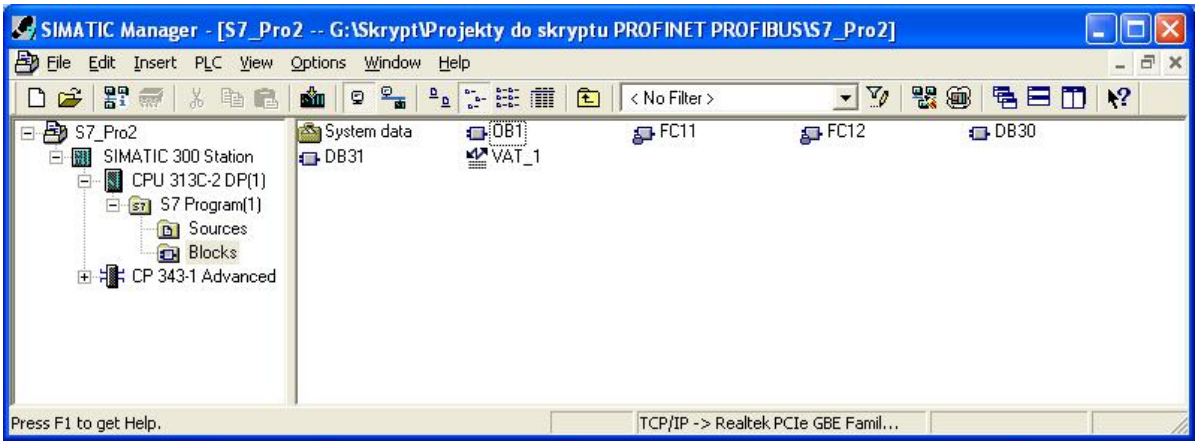
Rys. 4.36. Okno bloku OB1

Sterowanie przesyłaniem wartości zegara (bajt MB100) oraz podgląd zmiennych przedstawiono w oknie 'Variable Table' (rysunek 4.37).



Rys. 4.37. Okno 'VAT 1'

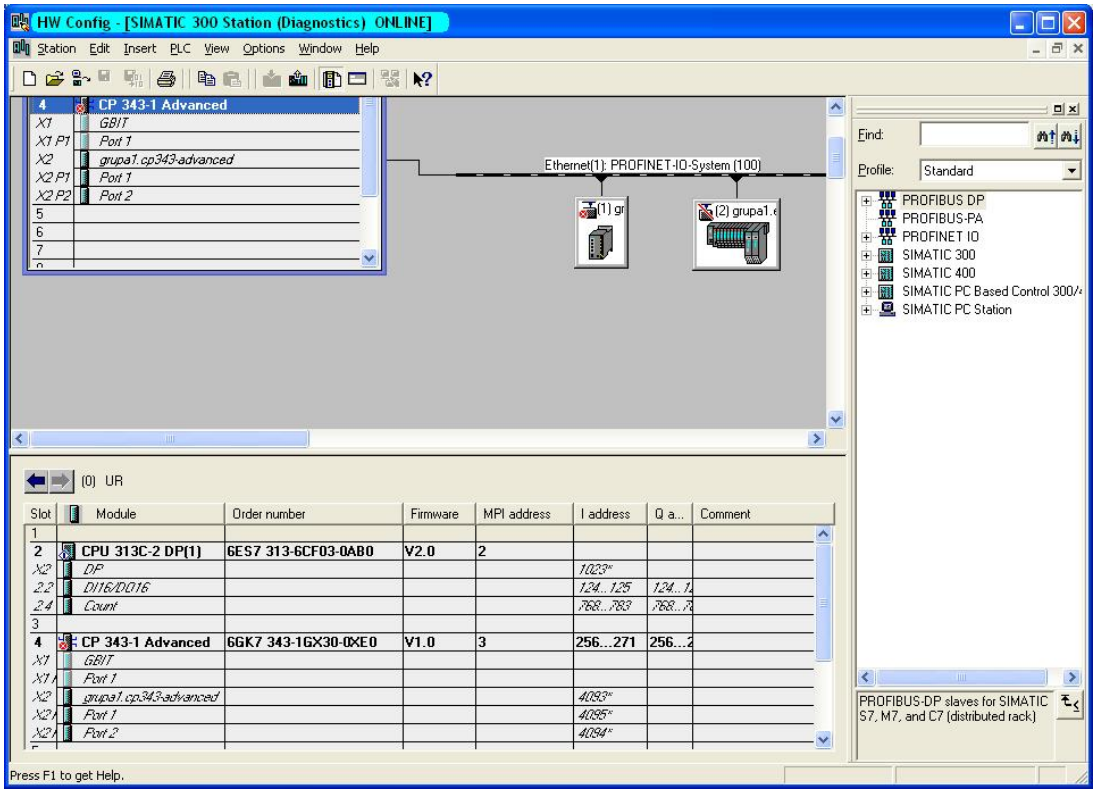
Poprawna konfiguracja bloków zadania w oknie Simatic Manager została przedstawiona na rysunku 4.38.



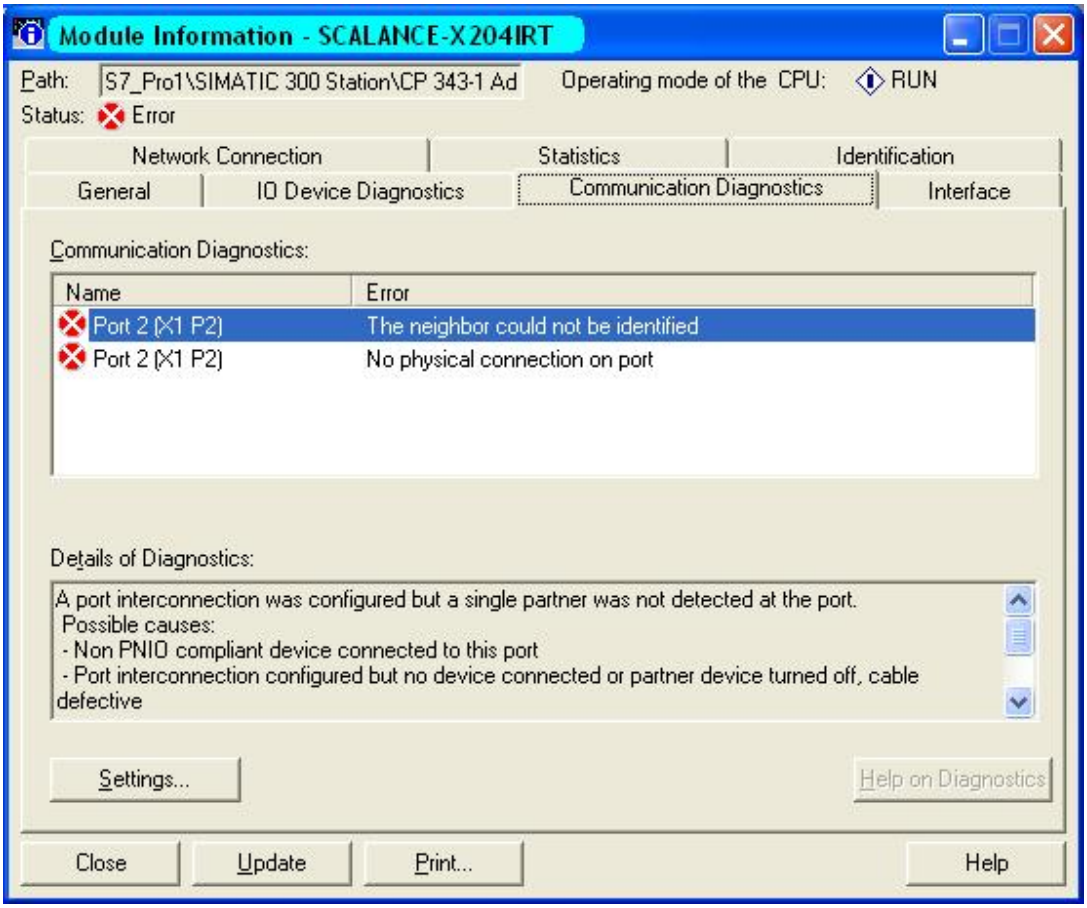
Rys. 4.38. Okno Simatic Manager

4.10. Wykonywanie diagnostyki sieci PROFINET IO

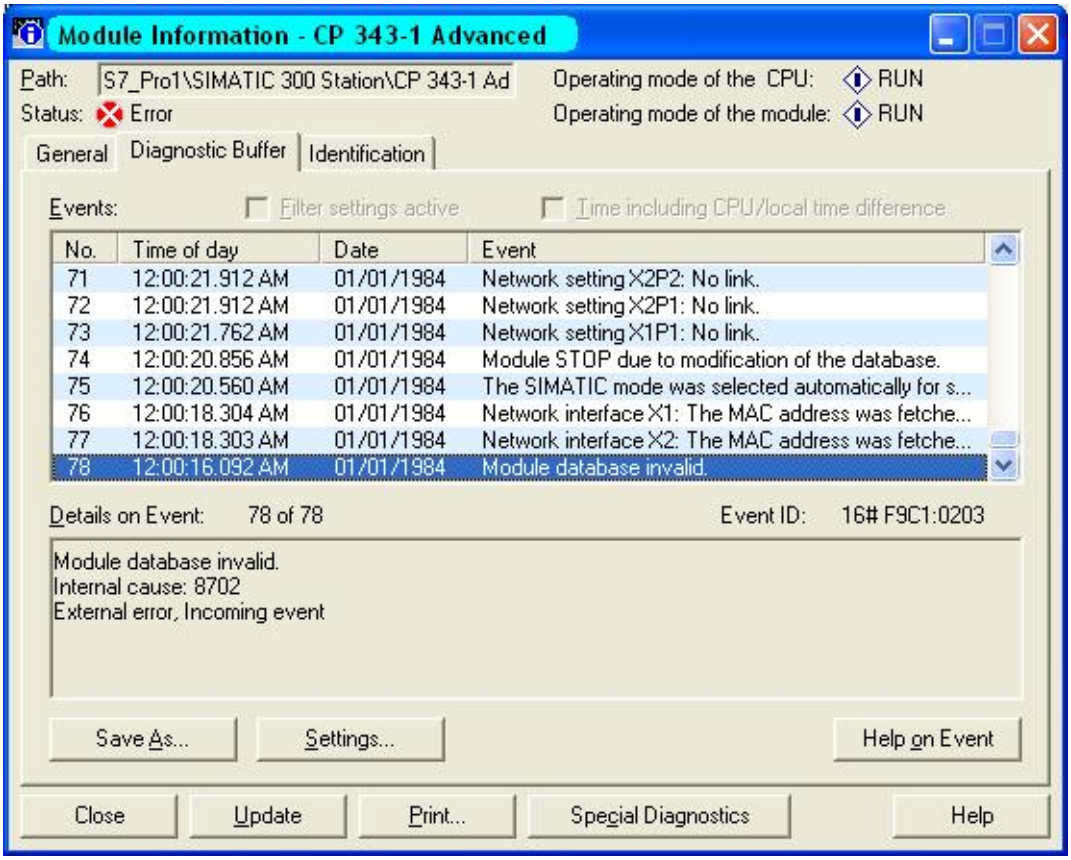
Diagnostyka na podstawie narzędzia 'HW Config', zakładka Station/Open ONLINE polega na identyfikacji problemów w sieci. Poniżej przedstawiono przykładową diagnostykę w przypadku odłączenia od sieci urządzenia IO-Device nr 2 (rysunki 4.39÷4.42).



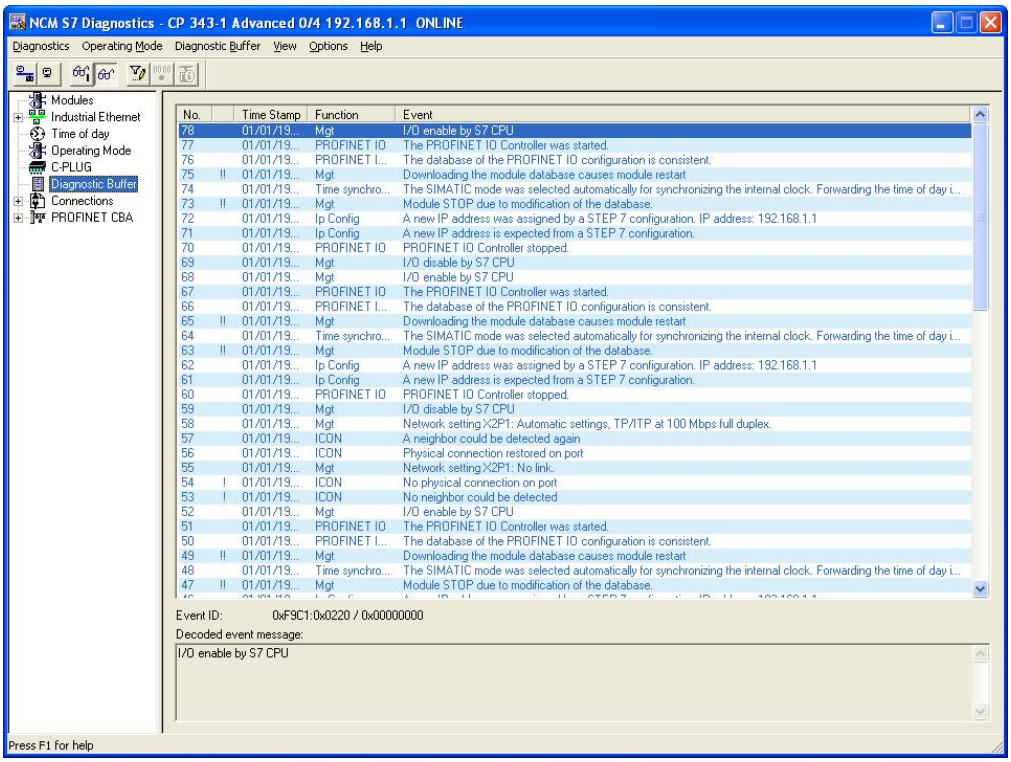
Rys. 4.39. Okno 'HW Config' w trybie ONLINE, zakładka Station/Open ONLINE



Rys. 4.40. Odczyt danych diagnostycznych w urządzeniu 'switch' sieci PROFINET IO

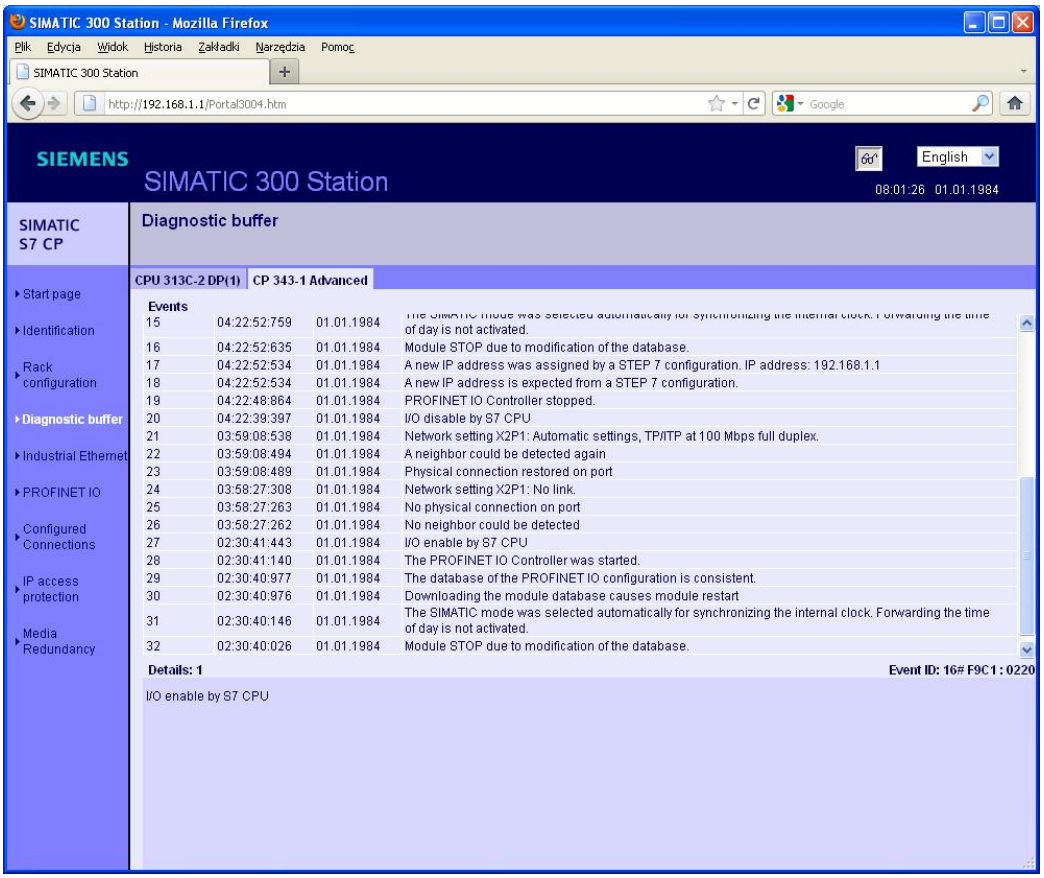


Rys. 4.41. Odczyt danych diagnostycznych z urządzenia IO-controller, zakładka CP343-1 Advanced/Module Information/Diagnostic Buffer

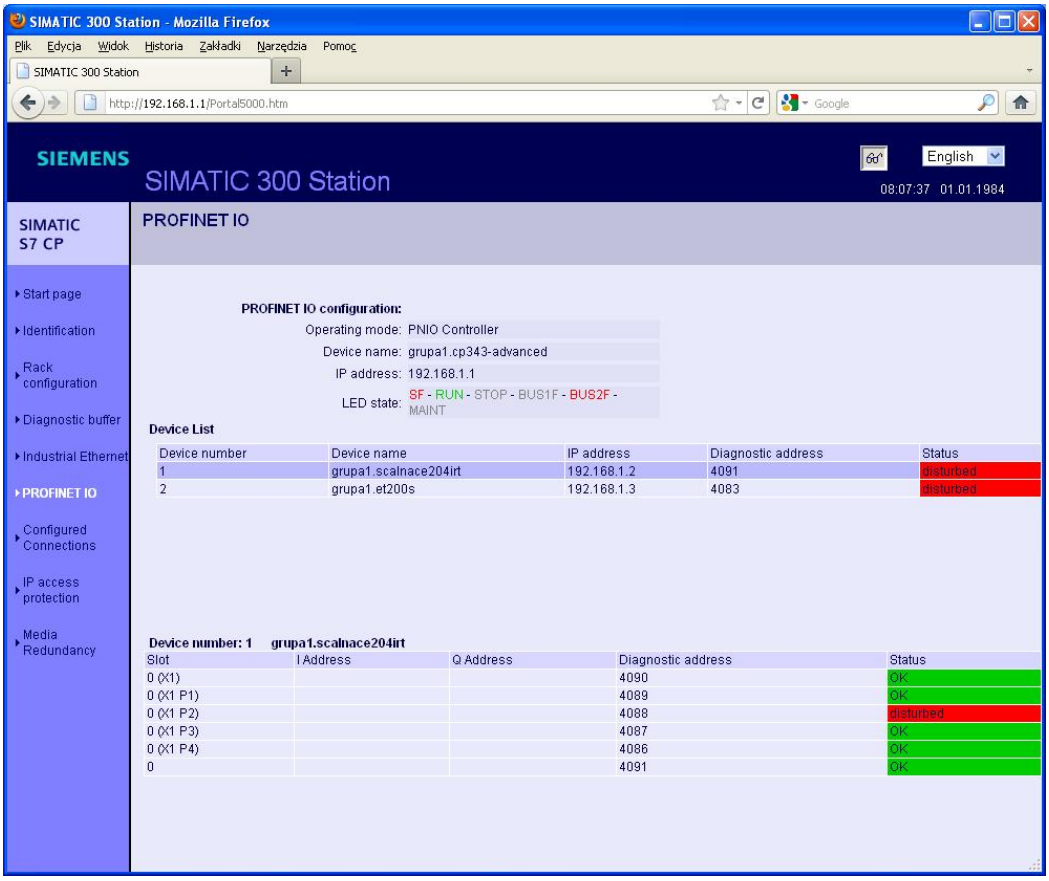


Rys. 4.42. Odczyt danych diagnostycznych z urządzenia IO-controller w trybie ONLINE, zakładka CP343-1 Advanced/Module Information/Diagnostic Buffer/Special Diagnostics

Dostęp do bufora danych diagnostycznych może być zdalny za pomocą protokołu http (rysunki 4.43÷4.44).

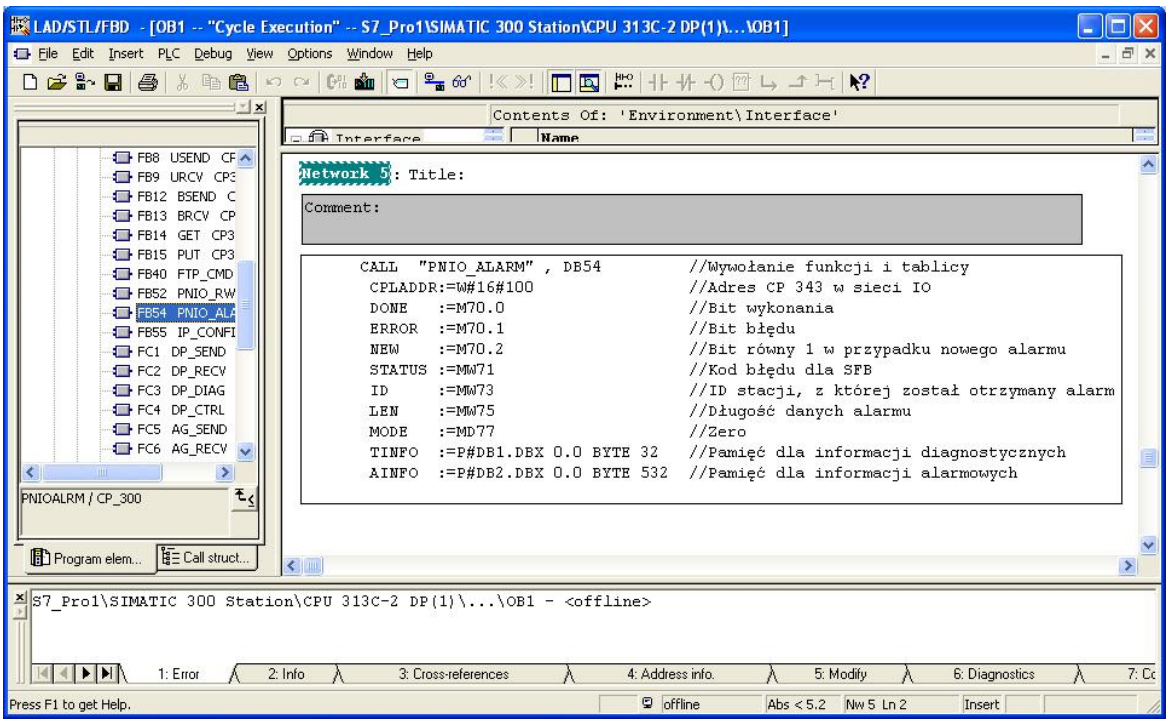


Rys. 4.43. Odczyt danych diagnostycznych z CP 343-1 Advanced poprzez protokół HTTP



Rys. 4.44. Identyfikacja konfiguracji POROFINET IO w module CP 343-1 Adv., protokół HTTP

Diagnostyka urządzeń w sieci PROFINET IO z wykorzystaniem modułu CP343-1 Advanced będzie opierała się o funkcję FB54 ('PNIO_ALARM'). Konfiguracja funkcji została przedstawiona na rysunku 4.45.

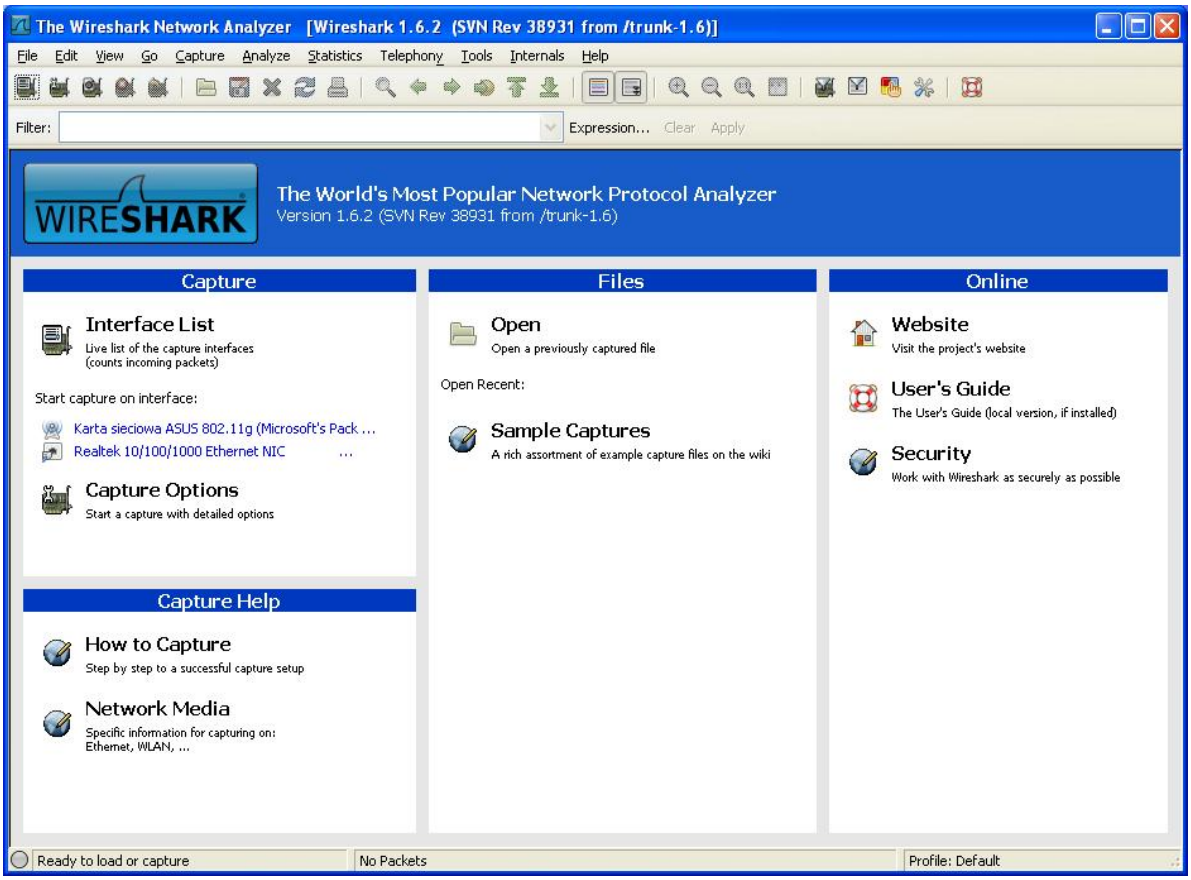


Rys. 4.45. Funkcja FB54 w bloku OB1

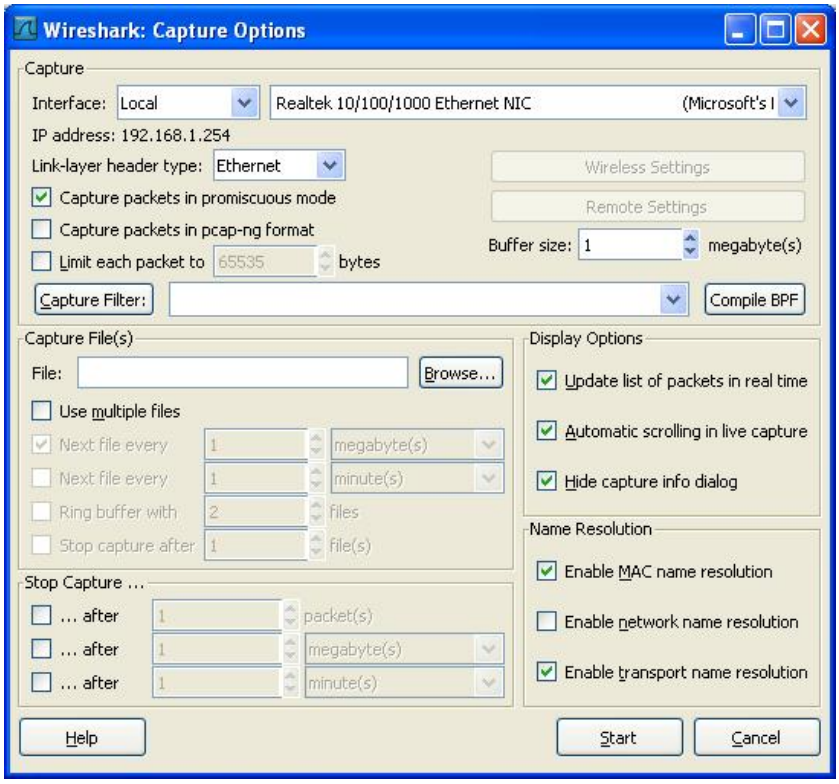
Analiza i wywołanie funkcji w przypadku symulowanych problemów sieci jest zadaniem przeprowadzonym w laboratorium sieci przemysłowych.

4.11. Protokół ARP, nasłuch ramki pakietów w sieci PROFINET IO

Nasłuch pakietów w sieci PROFIENT IO jest prowadzony za pomocą środowiska 'Wireshark' (www.wireshark.org) [31], dlatego przed przystąpieniem do zajęć wymagana jest ogólna znajomość tego programu (rysunek 4.46). Przed przystąpieniem do nasłuchu pakietów w sieci należy zdefiniować interfejs, przez jaki działa analizator sieci 'Wireshark' (rysunek 4.47).

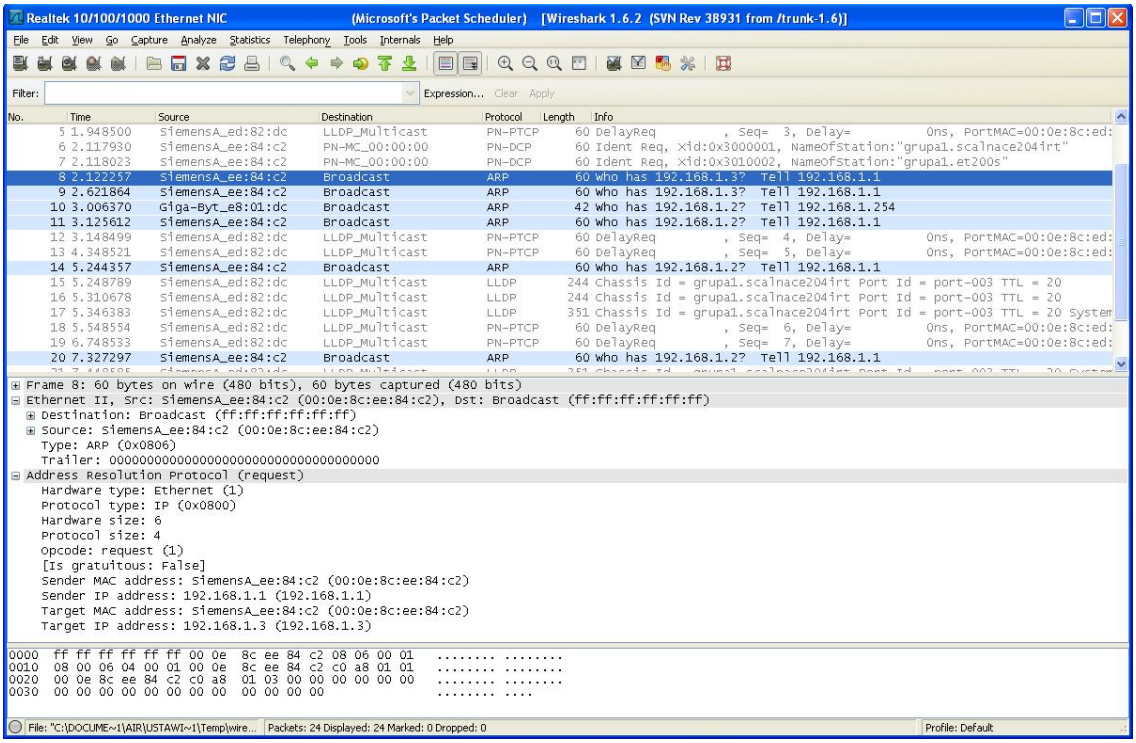


Rys. 4.46. Okno główne programu 'Wireshark'



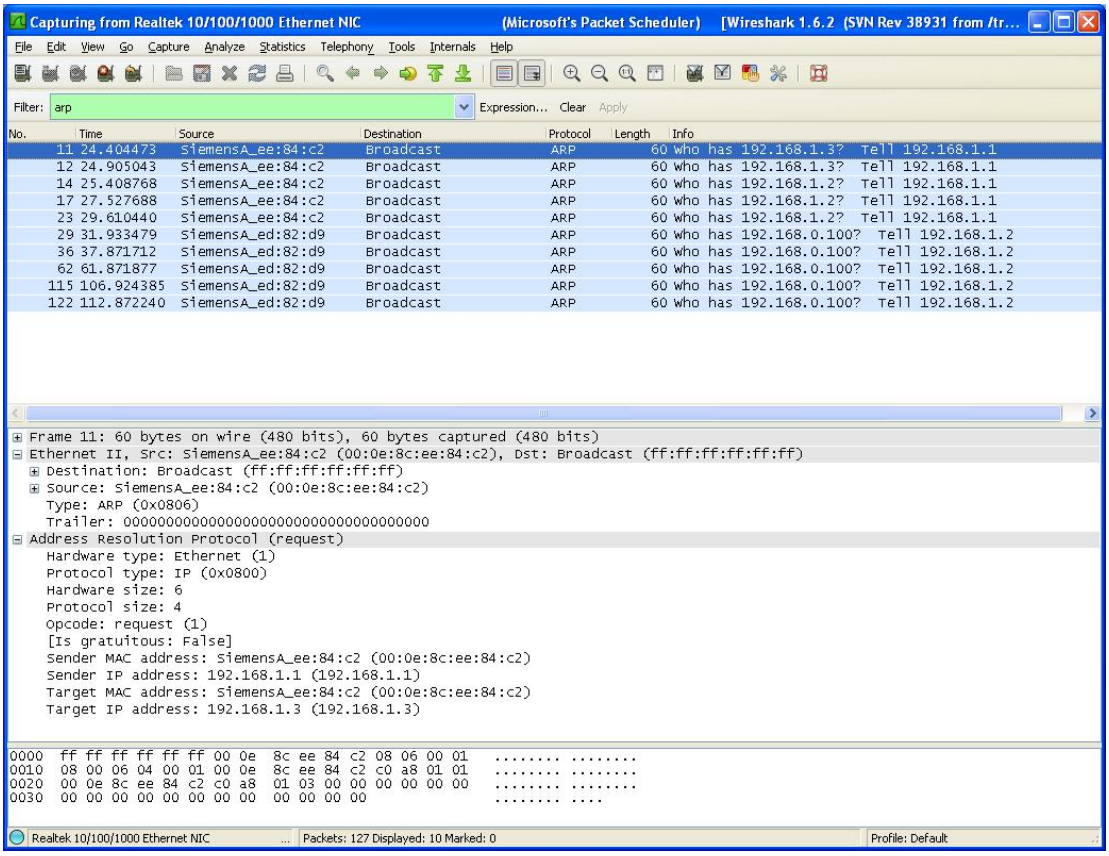
Rys. 4.47. Parametry interfejsu nasłuchiwania, zakładka Capture/Options

Działanie protokołu ARP należy sprawdzić podczas uruchamiania sieci (podczas włączenia zasilania) urządzeń IO-Devices (rysunek 4.48).



Rys. 4.48. Przykład działania protokołu ARP

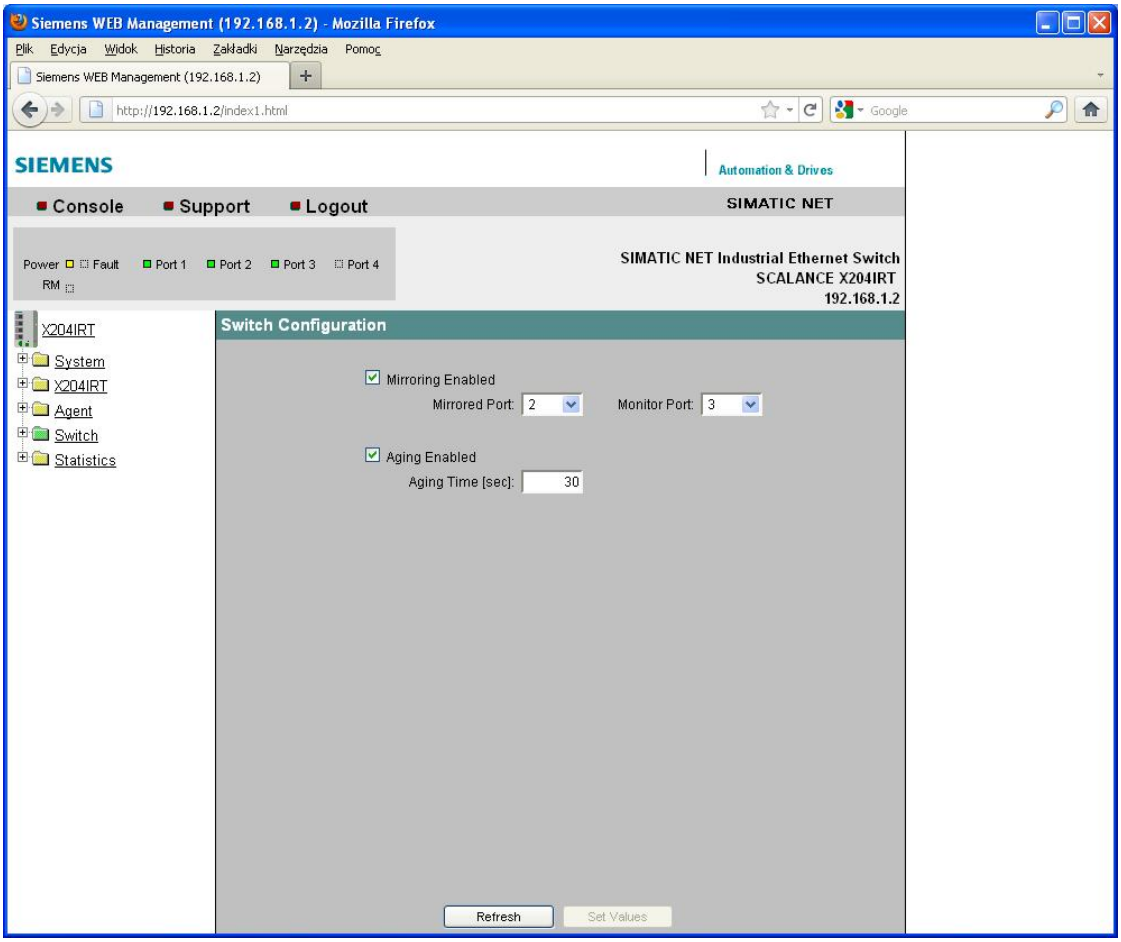
Pakiety protokołu ARP można odfiltrować stosując filtr: arp (rysunek 4.49).



Rys. 4.49. Filtrowanie protokołu ARP

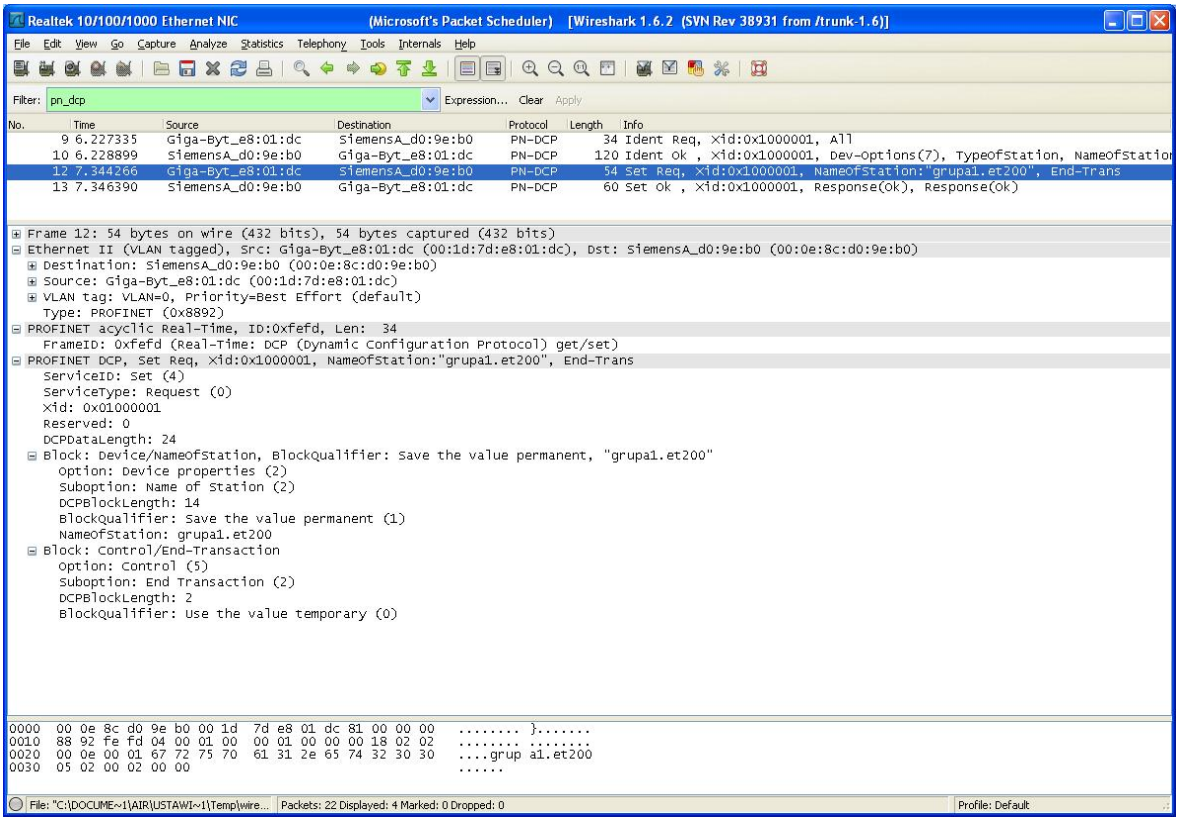
4.12. Przypisywanie nazw i adresów stacjom IO-Devices

W konfiguracji sprzętowej sieci PROFINET IO, nasłuch pakietów najłatwiej jest prowadzić poprzez 'switch'. W tym celu w programie zarządzającym 'switch' (dostęp przez http) należy włączyć funkcję kopiowania pakietów z portu A do portu B. Funkcja 'Mirrored Port' powinna być ustawiona na port urządzenia, które nasłuchujemy, natomiast funkcja 'Monitor Port' na stację PC/PG z programem do nasłuchu (rysunek 4.50).



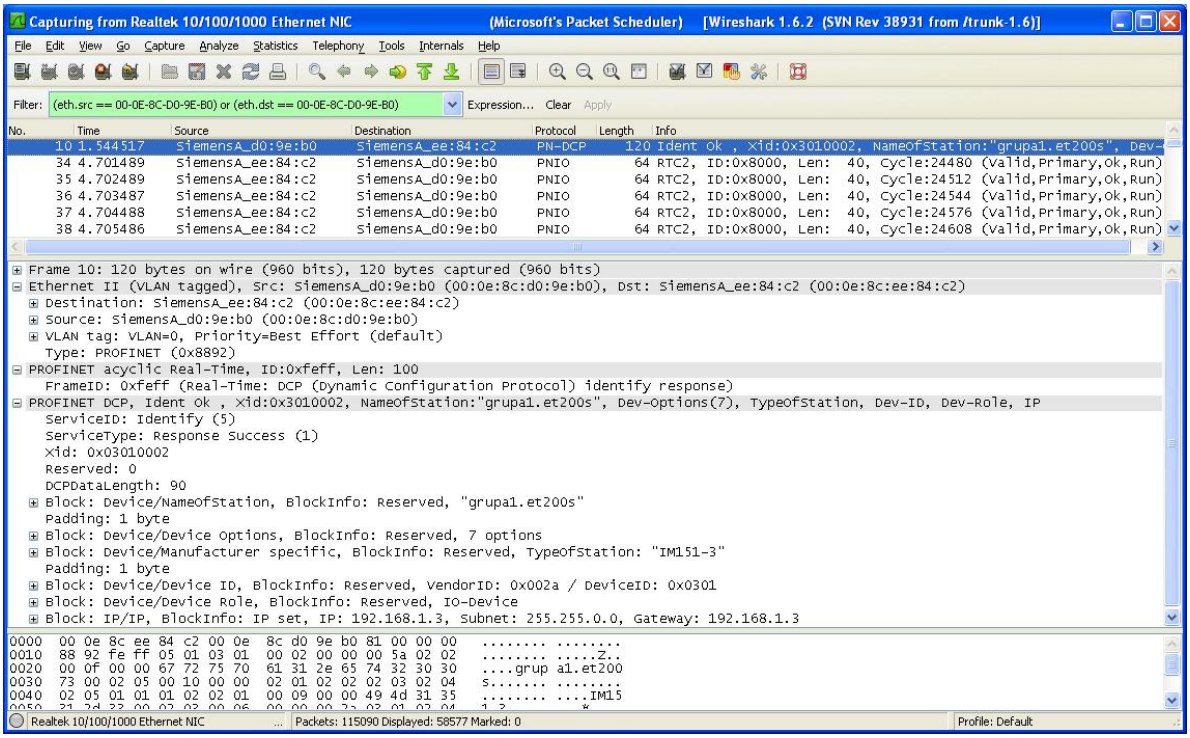
Rys. 4.50. Włączenie 'Port Mirroring' w programie zarządzającym urządzenia 'switch'

Za przypisywanie nazw oraz adresów IP stacjom IO-Device odpowiada protokół DCP. Sprawdzenie pakietów odbywa się poprzez użycie filtra: pn_dcp. Nasłuch jest prowadzony podczas startu sieci, nazwa urządzenia jest nadawana z poziomu 'HW Config'. Przypisywanie nazw dokonuje urządzenie IO-Controller (rysunek 4.51).



Rys. 4.51. Przypisywanie nazwy urządzeniu IO-Device, protokół DCP

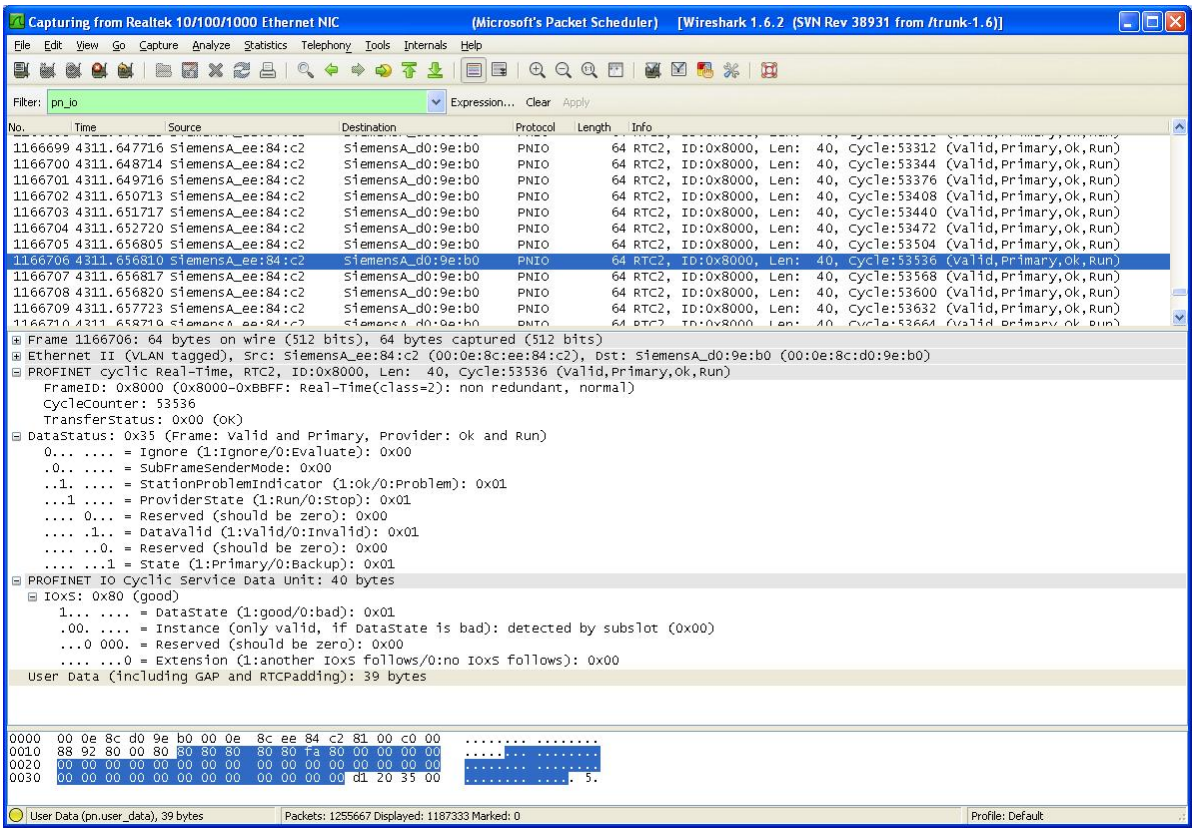
Aby prowadzić nasłuchiwanie wybranej stacji, należy użyć filtru ustawionego na adres MAC danej stacji w sieci, np. do nasłuchu stacji o adresie MAC: 00-0E-8C-D0-9E-B0, filtr jest następujący: (eth.src == 00-0E-8C-D0-9E-B0) or (eth.dst == 00-0E-8C-D0-9E-B0). Widok działania filtru przedstawiono na rysunku 4.52.



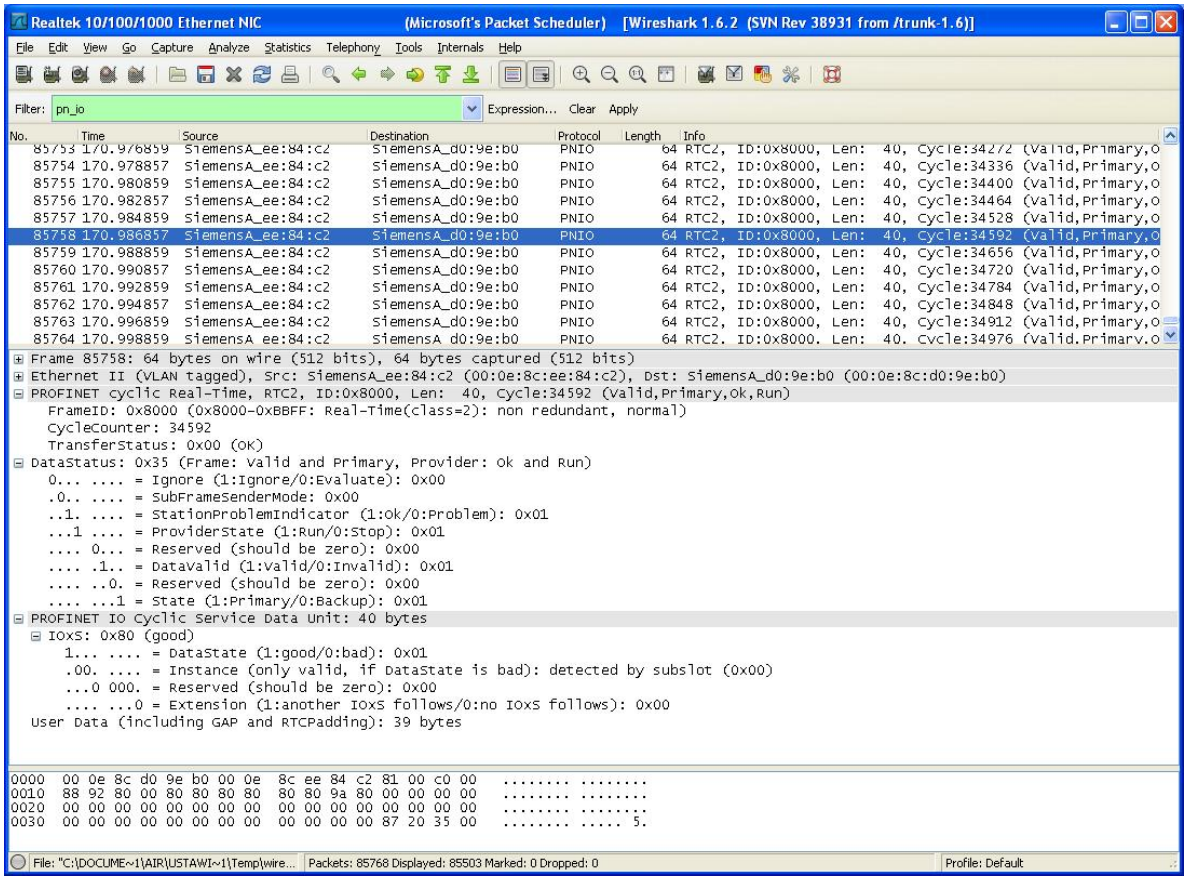
Rys. 4.52. Identyfikacja wybranej stacji IO-Device i przejście w tryb RT

4.13. Wymiana danych acykliczna, IRT i przesyłanie alarmów

Nasłuch pakietów w sieci PROFINET IO podczas pracy w trybie krytycznej czasowo wymiany danych w czasie rzeczywistym dla dwóch różnych czasów odświeżania został przedstawiony na rysunkach 4.53÷4.54.

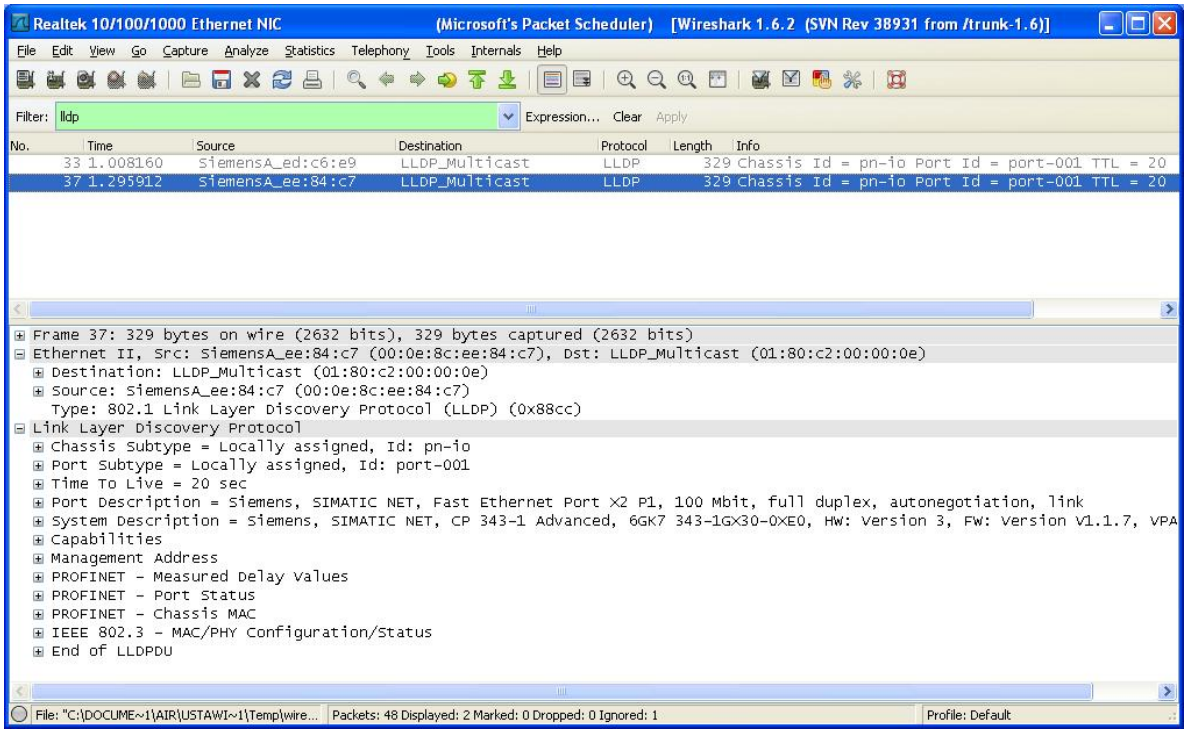


Rys. 4.53. Status danych procesowych, czas odświeżania stacji IO-Device równy 1ms



Rys. 4.54. Status danych procesowych, czas odświeżania stacji IO-Device równy 2ms

Działanie protokołu LLDP (ang. *Link Layer Discovery Protocol*) zilustrowano na rysunku 4.55.



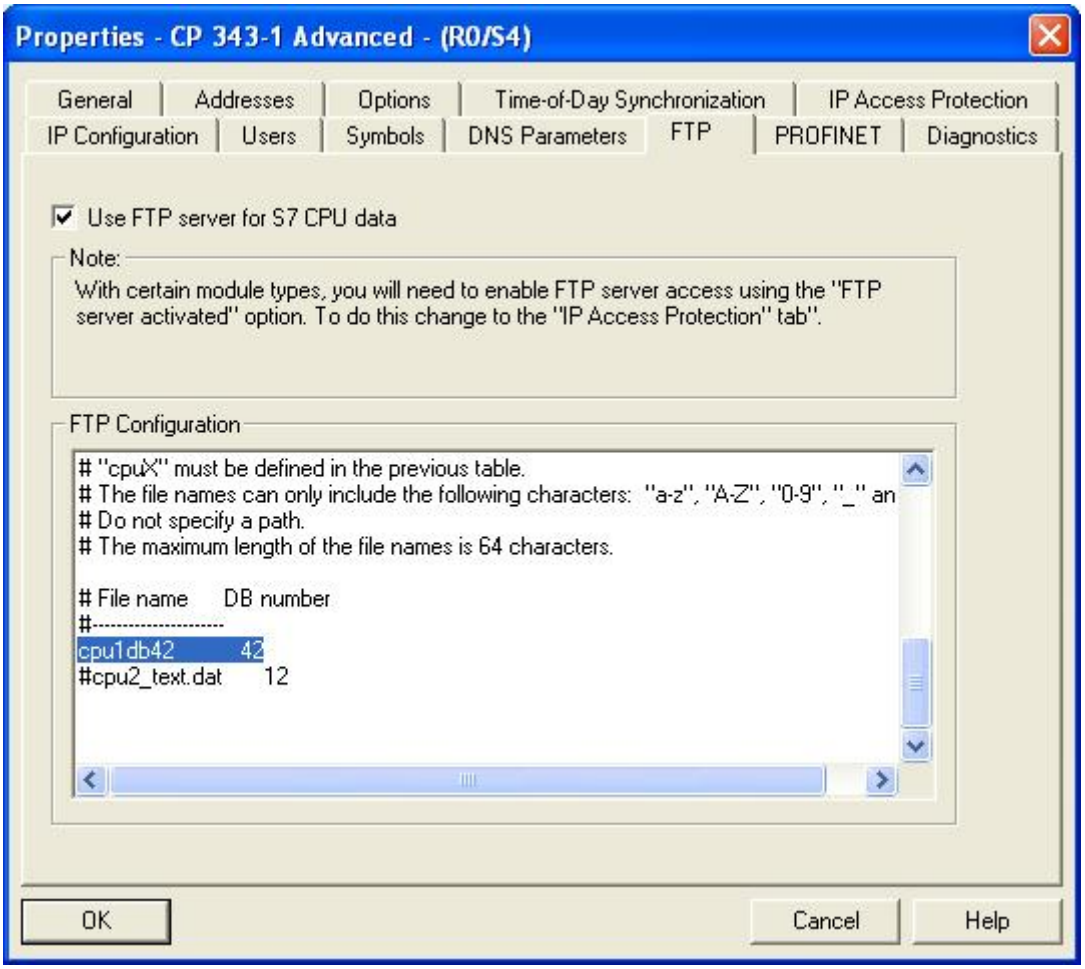
Rys. 4.55. Działanie protokołu LLDP

4.14. Projektowanie funkcji IT (WEB) dla IO-Controller

Konfiguracja praw użytkownika i zarządzanie niektórymi funkcjami IT (ang. *Internet Technology*), w tym strony WEB wykonane poprzez protokół http wymagają ogólnej znajomości języka znaczników hipertekstowych HTML (ang. *Typer Transfer Markup Language*). Zadanie sprowadza się do modyfikacji Web z poziomu zarządzania IO-Controller i jest wykonywane na zajęciach.

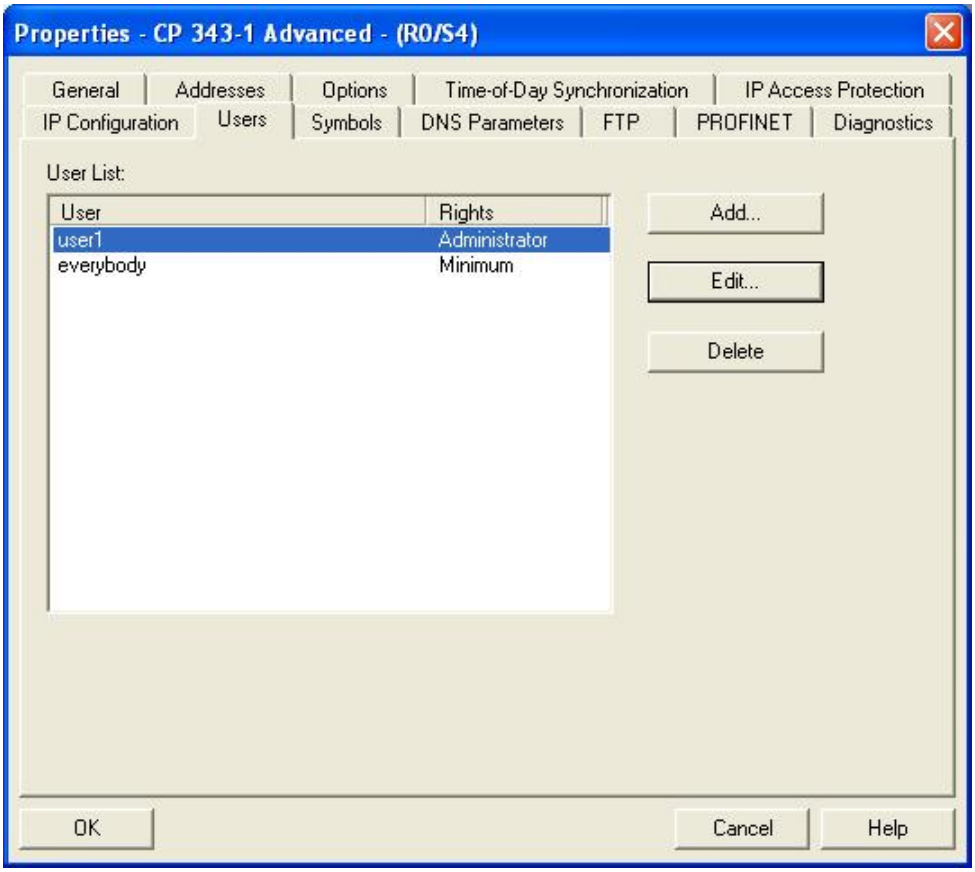
4.14.1. Obsługa serwera FTP dla IO-Controller

Aby włączyć obsługę serwera FTP, należy w właściwościach modułu CP 343-1 Advanced zaznaczyć opcję /*Use FTP server for S7 CPU data.* Dodatkowo należy wskazać tablicę danych dla CPU, przez usunięcie komentarza w linijce konfiguracji FTP, np.: *cpu1db42* (rysunek 4.56).



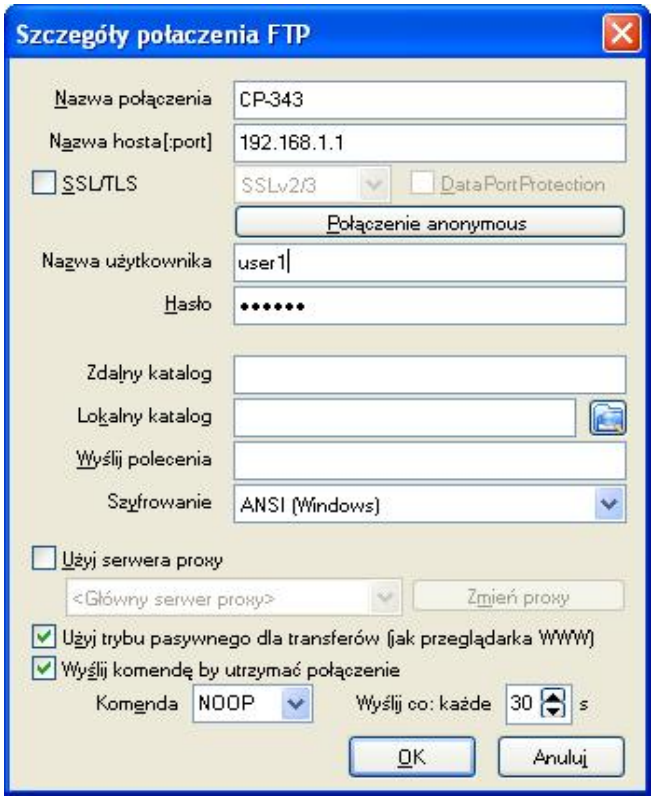
Rys. 4.56. Konfiguracja FTP w CP 343-1, zakładka /Properties/FTP

Następnie należy dodać użytkownika i ustawić prawa dostępu. Należy podać nazwę użytkownika i hasło (min. 8 znaków). Okno opcji użytkownika zilustrowano na rysunku 4.57.



Rys. 4.57. Dodawanie użytkownika, zakładka Properties/Users

Połączenie przez FTP z modułem CP można wykonać używając np. programu *Unreal Commander*. Poprzez podanie dowolnej nazwy połączenia, wpisanie adresu IP modułu CP w oknie *Nazwa hosta* oraz podanie nazwy użytkownika i hasła ustawionych w oknie HW Config (rysunek 4.58).



Rys. 4.58. Konfiguracja połączenia FTP w *Unreal Commander*

Literatura

[1]. EN 50170-2, PROFIBUS.
[2]. EN 50254-3, PROFIBUS DP.
[3]. IEC 61158, PROFIBUS.
[4]. IEC 61158, PROFINET.
[5]. IEC 61784, PROFIBUS.
[6]. IEC 61784-2, *Real-time Ethernet*.
[7]. IEEE 802.1÷803.3, *Local aera networks*.
[8]. PN-EN 61131-3, *Sterowniki Programowalne: języki programowania*.
[9]. Comer D. E., *Sieci Komputerowe i Intersieci: Aplikacje internetowe*, Ed. 4, Wyd. WNT, Warszawa, 2000.
[10]. Hugh J., *Automating Manufacturing Systems with PLCs*, Ver. 5.0, 2007.
[11]. Kwaśniewski J., *Sterowniki PLC w praktyce inżynierskiej*, Wyd. BTC, Legionowo, 2008.
[12]. Kwaśniewski J., *Programmable Logic Controllers*, Wyd. ResNet., Kraków, 2002.
[13]. Mahalik N. P., *Fieldbus Technology: Industrial Networks Standards for Real-Time Distributed Control*, Springer, 2003.
[14]. Michta E., *Modele Komunikacyjnego Sieciowego Systemu Pomiarowo-Sterującego*, Wyd. Politechniki Zielonogórskiej, Zielona Góra, 2000.
[15]. Mielczarek W., *Szeregowe interfejsy cyfrowe*, Wyd. HELION, 1993.
[16]. Mystkowski A., *Projekt sieci PROFIBUS w laboratorium dydaktycznym z wykorzystaniem sterowników PLC*, Politechnika Białostocka, praca dyplomowa magisterska, 2003.
[17]. Pigan R., Metter M., *Automating with PROFINET: Industrial communication based on Industrial Ethernet*, 2nd ed., Siemens, 2006.
[18]. Popp M., *The new rapid way to PROFIBUS DP, From DP-V0 to DP-V2*, PROFIBUS Nutzerorganisation, 2003.
[19]. Popp M., Weber K., *The Rapid Way to PROFINET*, PNO, 2004.
[20]. Ronald W. M., *PROFIBUS: A pocket guide*, ISA, 2004.
[21]. Sacha K., *Sieci Miejscowe PROFIBUS*, Wyd. MIKOM, Warszawa, 1998.
[22]. Sportach M. A., *Sieci komputerowe, księga eksperta*, Wyd. Helion, Gliwice, 1999.
[23]. Szymiczek A., Materiały szkoleniowe: „Certyfikowany inżynier sieci Profibus DP", „Certyfikowany inżynier sieci Profinet IO, INTEX Sp. z o. o., Gliwice, 2011.
[24]. Simatic Profinet System Description, System manual, Siemens AG, 2006.
[25]. Simatic Profinet, Opis Systemu, Podręcznik, Siemens AG, Wyd. 1, Warszawa, 2010.
[26]. Industrial Communication Katalog IK PI, SIEMENS, 2002/2003.
[27]. www.profibus.com.
[28]. www.profibus.org.pl.
[29]. www.automation.siemens.com.
[30]. www.intex.com.pl.
[31]. www.wireshark.org