

Arkadiusz HULEWICZ*, Zbigniew KRAWIECKI*
Krzysztof DZIARSKI*, Maciej DUDA

STEROWNIK LOGICZNY PLC W ROZPROSZONYM SYSTEMIE STEROWANIA DCS

W artykule zaprezentowano niekonwencjonalne wykorzystanie sterowników PLC w rozproszonym systemie sterowania DCS. Analizie poddano funkcjonalność, wymagania oraz koszty instalacji i eksploatacji komercyjnych systemów DCS oraz tych, zbudowanych w oparciu o sterowniki logiczne PLC. Szczegółowo opisano cechy, architekturę oraz strukturę systemów DCS. Szczególną uwagę zwrócono na przyporządkowanie poszczególnych elementów systemów do odpowiednich warstw zawartych w ich strukturze. Ponadto, zwrócono uwagę na wykorzystywane w systemach rozproszonych elementy pomiarowe, sterujące oraz wizualizacyjne. Do tego celu wybrano najczęściej wykorzystywane rozwiązania, określone na podstawie przeglądu przykładowych systemów.

SŁOWA KLUCZOWE: sterownik PLC, panel HMI, cykl programowy, rozproszony system sterowania DCS.

1. WSTĘP

Współczesne systemy sterowania oraz obiekty przemysłowe stawiają coraz wyższe wymagania związane z ich niezawodnością. Powszechnie wykorzystywane sterowanie scentralizowane wymaga zastosowania jednostki centralnej o dużej mocy obliczeniowej i rozbudowanej sieci komunikacyjnej, co w przypadku sterowania obiektami wielkiej skali może przysporzyć wiele trudności. W takich przypadkach alternatywnym jest zastosowanie rozproszonych systemów sterowania DCS. W systemach tych całe sterowanie obiektem zostało podzielone na mniejsze, powiązane ze sobą zadania. Rozwiązanie takie stanowi alternatywę dla systemów opartych tylko na sterownikach PLC oraz oprogramowaniu SCADA.

Rozproszony system sterowania DCS (*Distributed Control System*) jest połączeniem infrastruktury zarówno sprzętowej, jak i programowej zapewniającej automatyzację złożonych i rozproszonych procesów przemysłowych. Podstawową ideą systemu DCS jest zintegrowana baza danych skupiająca wszystkie

* Politechnika Poznańska

parametry związane z automatyzowanym procesem, a przede wszystkim z jego zmiennymi związanymi ze sterowaniem i wizualizacją. Istotną cechą tego systemu jest redundancja, która polega na celowej nadmiarowości wszystkich składowych procesu automatyzacji. Właściwość ta zapewnia niezawodną i ciągłą pracę systemu, nawet podczas awarii. W sytuacji takiej zastępcze urządzenia sterujące przejmują funkcje niedziałających elementów, co jest szczególnie istotne w tych gałęziach przemysłu, w których niedopuszczalne jest przerwanie ciągłości pracy. System DCS może być realizowany na wiele sposobów, jednym z nich jest opisany w artykule system zbudowany tylko w oparciu o modułowy sterownik PLC [1].

Programowalne sterowniki logiczne PLC (*Programmable Logic Controllers*) są komputerami przemysłowymi, wykorzystywanymi podczas sterowania procesami technologicznymi. Ich główną ideą jest praca w czasie rzeczywistym, zgodnie z algorytmem zaimplementowanym w programie użytkownika. Umożliwiają one jednoczesną współpracę z wieloma sygnałami analogowymi i cyfrowymi, co gwarantuje ich niezawodną pracę w rozbudowanych oraz rozproszonych systemach sterowania, w tym w systemach DCS. Ponadto, zgodnie z obowiązującymi normami gwarantują one niezawodną pracę w ekstremalnych warunkach pracy (temperatura, zapylenie i wilgotność), co przy kompatybilności elektromagnetycznej czyni je urządzeniami o wszechstronnym zastosowaniu[2–6].

W artykule zaprezentowano niekonwencjonalne wykorzystanie modułowych sterowników PLC w rozproszonym systemie sterowania DCS. Omówiono podstawowe zagadnienia związane z systemem DCS, zaprezentowano elementy pomiarowe, sterujące i wizualizacyjne wykorzystywane w tym systemie oraz przedstawiono analizę porównawczą w odniesieniu do systemu SCADA i sterownika PLC. Spośród wielu rozwiązań wykorzystywanych przez systemy DCS, w opisie wykorzystano wybrane rozwiązanie komercyjne, dla których zostały udostępnione podstawowe parametry. Ponadto, w artykule zaprezentowano alternatywne rozwiązanie bazujące tylko na sterownikach PLC, którego funkcjonalność potwierdziła makietą linii produkcyjnej sterowanej za pomocą modułowych sterowników PLC połączonych w system DCS. W ramach przeprowadzonych badań zbudowano wymienioną makietę oraz na jej podstawie analizie poddano koszty instalacji i funkcjonalność w odniesieniu do komercyjnych systemów DCS. Wyniki te pozwoliły na ocenę, czy modułowe sterowniki PLC samodzielnie mogą zostać wykorzystane w rozproszonych systemach sterowania i osiągają parametry porównywalne z systemami komercyjnymi, przy jednoczesnym obniżeniu kosztów projektowania, instalacji i użytkowania.

2. ROZPROSZONY SYSTEM STEROWANIA DCS

W współczesnej automatyce zauważalna jest tendencja zastępowania tradycyjnych, scentralizowanych układów sterowania systemami rozproszonymi DCS

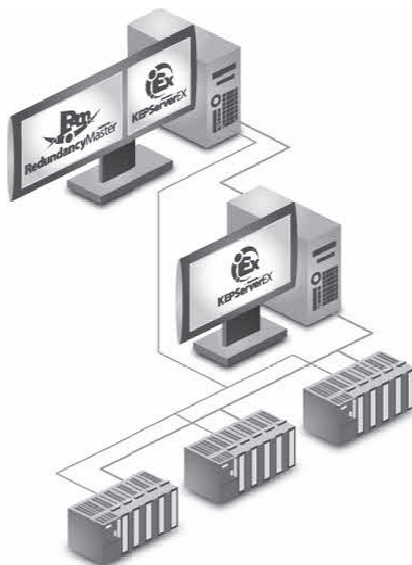
(*Distributed Control System*), bazującymi na podstawowych elementach automatyki, wśród których można wymienić sterowniki PLC, przemysłowe sieci komunikacyjne oraz elementy wizualizacji. Pierwsze rozproszone systemy sterowania wprowadzono w latach 70 ubiegłego wieku i do czasów współczesnych zagadnienia z nimi związane nie zostały jednoznacznie znormalizowane [7, 8]. Obowiązują jedynie zalecenia funkcjonalne z nimi związane, wśród których należy wymienić:

- wykorzystywanie pojedynczych bloków programowych jako elementów sterowania zaawansowanego (regulatory rozmyte, regulacja predykcyjna),
- optymalizacja procesów technologicznych,
- automatyczny dobór nastaw regulatorów,
- adaptacja istniejącej sieci informatycznej
- wykorzystanie protokołów HART i Foundation Fieldbus do diagnostyki aparatury kontrolno-pomiarowej,
- wykorzystanie sieci neuronowych i protokołów cyfrowych (Foundation Fieldbus, HART, Modbus RTU, Profibus, ASI),
- generacja raportów,
- migracja podczas działania systemu,
- rekonstrukcja struktury sterowania bez konieczności zatrzymania systemu [7–9].

Ze strony programowej z DCS związane są algorytmy przetestowane do pracy ze złożonymi systemami, natomiast ze strony sprzętowej sterowniki programowalne, przemysłowe sieci komunikacyjne oraz urządzenia wizualizacyjne, które przy odpowiednim zestawieniu stanowią integralny system. Tego typu układy sterowania można łatwo przeskalować poprzez zmianę liczby klientów i serwerów w systemie komunikacyjnym oraz zmianę liczby modułów wejść/wyjść w kontrolerach rozproszonych.

Przy wykorzystaniu aplikacji MES (*Manufacturing Execution System*), zarządzającej produkcją z optymalizacją, analizą przepływu materiałów, utrzymaniem ruchu i przepływem dokumentacji oraz aplikacji ERP (*Enterprise Resource Planning*) zarządzającej zamówieniami, finansami i logistyką rozproszony system sterowania DCS stanowi pomost pomiędzy procesami technologicznymi a aplikacjami IT [7–9].

Przykładem wspomnianej redundancji, czyli celowej nadmiarowości wszystkich składowych procesu automatyzacji może być zastosowanie dwóch równolegle połączonych sterowników, z którym jeden określany jest jako Master, a drugi Slave. Jednoczesne połączenie tych sterowników z magistralą komunikacyjną i urządzeniami sterowniczymi zapewnia poprawne działanie procesu technologicznego w przypadku awarii jednego z nich. Drugim przykładem nadmiarowości jest redundancja jednostek komputerowych (rys. 1) lub komunikacji zapewniająca równoległą transmisję danych poprzez sieć Ethernet [7–9].



Rys. 1. Przykład redundancji komputerów do nadzorowania sterownika PLC [10]

W systemie DCS kontrolery połączone są z urządzeniami obiektowymi oraz komputerami roboczymi za pomocą szybkich sieci komunikacyjnych, natomiast urządzenia dyskretne z modułami wejść i wyjść za pomocą magistrali komunikacyjnej. Urządzenia te komunikują się ze sterownikami PLC lub innymi kontrolerami protokołami komunikacyjnymi wśród których można wymienić: Profibus, Modbus itp. [8, 10].

3. PORÓWNANIE SYSTEMÓW PLC Z SYSTEMAMI ROZPROSZONYMI DCS

Współczesne systemy sterowania oparte na sterownikach PLC i oprogramowaniu SCADA mogą skutecznie zastąpić komercyjnie dostępne rozproszone systemy sterowania DCS. Adaptację taką umożliwiają parametry obecnie dostępnych programowalnych sterowników logicznych, wśród których należy wymienić:

- zwiększanie niezawodności i dostępności,
- zwiększanie szybkości jednostek centralnych CPU i dostępnej pamięci,
- wdrażanie redundancji na różnych poziomach,
- zwiększanie funkcjonalności zmiennych dzielonych pomiędzy sterownikiem PLC a systemem SCADA [7, 8].

Pomimo zwiększenia funkcjonalności sterowników PLC i oprogramowania SCADA systemy na nich oparte, w przeciwieństwie do rozproszonych systemów DCS są nadal systemem scentralizowanym. Zastosowanie rozproszonego stero-

wania nie wymaga zastosowania lepszych sterowników, nadal są to dotychczasowe sterowniki PLC, pracują one jednak w innej strukturze sieciowej. W związku z powyższym zdaniem autorów rozproszony system sterowania można zbudować tylko z wykorzystaniem sterownika PLC i systemu wizualizacji, co prezentuje opisana w artykule makietę. W makiecie tej, w przeciwieństwie do komercyjnych systemów DCS nie zastosowano oprogramowania PSI, które służy do harmonogramowania produkcji w czasie rzeczywistym, realizacji produkcji oraz kontroli procesu produkcyjnego. Oprogramowanie to znacząco zwiększa koszty DCS, co powoduje, że cena systemu bazującego tylko na sterownikach PLC jest niższa.

Rozproszone systemy najczęściej są wyspecjalizowane do sterowania konkretnym obiektem, a wprowadzenie modyfikacji jest trudne. Zaproponowany w artykule system oparty na sterowniku PLC również zapewnia redundancję, jednak w porównaniu do systemów DCS jest bardziej elastyczny i uniwersalny. Również pod kątem obsługi, w zaproponowanym systemie rolą operatora jest nadzór i reagowanie na awarie. W systemie DCS wymagana jest dobra znajomość kontrolowanego procesu i jego konfiguracji w trybie online (możliwe jest wprowadzanie zmian w każdym aspekcie sterowania i wizualizacji).

Poza zaprezentowanymi różnicami oba systemy przetwarzają sygnały w czasie rzeczywistym, gromadzą dane oraz zapewniają nadmiarowość obwodów wejść/wyjść. Ponadto, posiadają zaimplementowane funkcje autodiagnostyczne i są kompatybilne z znormalizowanymi standardami transmisji danych [7–11].

4. ELEMENTY SYSTEMU DCS

Komercyjnie dostępne systemy DCS wykorzystują szereg elementów pomiarowych, sterujących i wizualizacyjnych, które umieszczane są w strukturze dzielonej na warstwę:

- inżynierską,
- procesową,
- operatorską,
- komunikacyjną
- modułów wejść/wyjść.

Warstwa inżynierska wykorzystywana jest do zarządzania systemem DCS. Głównym zadaniem jest realizacja algorytmów sterowania, konfiguracja urządzeń, dobór nastaw regulatorów, zarządzanie projektami, przygotowanie wizualizacji itp. Warstwa procesowa pełni nadzór nad urządzeniami, a jej praca nadzorowana jest przez jednostkę operatorską. Do warstwy tej podłączane są urządzenia wykonawcze, aparatura obiektowa oraz okablowanie. Warstwa operatorska umożliwia śledzenie, kontrolę oraz wprowadzanie nastaw procesowych. Umożliwia graficzne monitorowanie wszystkich parametrów, odczyt danych w systemie oraz konfigurowanie określonych wielkości. Interfejsy komunikacyjne

umożliwiają wymianę danych między urządzeniami systemu DCS. Najpopularniejszymi protokołami transmisji są: TCP/IP, PROFIBUS oraz MODBUS. Warstwa wejść/wyjść zbudowana jest z odpowiednich modułów lub kart [7, 8].

Ze względu na to, że systemy DCS są obszerne, sterują różnorodnymi procesami oraz zbierają i przetwarzają sygnały pomiarowe z wielu czujników zaprezentowanie wszystkich wykorzystywanych komercyjnie przetworników pomiarowych nie jest możliwe. Ważnym jest, aby ich sygnał wyjściowy był dostosowany do warstwy wejść/wyjść, do której są one podłączone. W przypadku wejść cyfrowych istotna jest częstotliwość zmian sygnału oraz napięcie znamionowe. W przypadku wejścia analogowego wartości sygnałów dostosowane są do znormalizowanego zakresu napięcia lub prądu.

Elementy sterujące wykorzystywane w systemie DCS można podzielić na elementy wykonawcze znajdujące się w warstwie procesowej i elementy zarządzające procesami. Systemy informatyczne pozwalają na pobieranie danych, konfigurację, programowanie i kontrolę systemu oraz stacji procesowej [9, 11].

5. STEROWNIK PLC I PANEL OPERATORSKI W ROZPROSZONYM SYSTEMIE STEROWANIA DCS

Alternatywą do komercyjnego rozproszonego systemu sterowania DCS jest zaprezentowany w artykule autorski system wykorzystujący tylko modułowy sterownik PLC oraz panel operatorski HMI. Zgodnie z przyjętymi założeniami system ten powinien realizować funkcje zbliżone do systemu DCS umożliwiając:

- sterowanie procesem produkcyjnym,
- wizualizację procesu,
- nadmiarowość w sterowaniu.

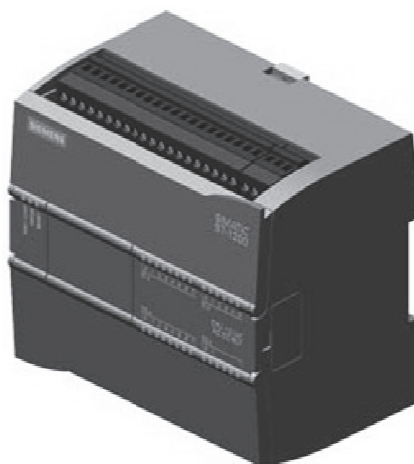
Z powodu ograniczeń programowych niemożliwym było zrealizowanie wszystkich funkcji związanych z systemem DCS. Zaprojektowany system podzielono na podstawowe warstwy, do których przyporządkowano następujące urządzenia:

- oprogramowanie TIA Portal V13 pełni funkcje warstwy inżynierskiej. Wykonuje działania nadzorcze, algorytmy sterowania oraz konfiguruje podłączone urządzenia. Realizuje wizualizację, zarządza projektami oraz dostępem do danych;
- dwa sterowniki PLC S7-1200 pełnią rolę warstwy procesowej nadzorując cały system oraz wejścia/wyjścia cyfrowe i analogowe.;
- panel HMI KTP 700 Basic jako warstwa operatorska umożliwia śledzenie i kontrolę procesu, graficzne monitorowanie parametrów oraz wprowadzanie zmian w algorytmie sterowania w czasie rzeczywistym;
- SCALANCE XB005 będący interfejsem komunikacyjnym zapewnia komunikację między wszystkimi urządzeniami z wykorzystaniem sieci Ethernet;

- wbudowane w sterowniku S7-1200 wejścia i wyjścia cyfrowe oraz analogowe pełnią rolę warstwy wejść/wyjść [1].

5.1. Sterownik PLC S7-1200 1214 DC/DC/DC

Sterowniki logiczne realizują zadania układów sterowania stycznikowo-przełącznikowego oraz logicznego. W zaprojektowanym systemie wykorzystano dwa sterowniki Siemens Simatic S7-1200 w wersji CPU 1214 DC/DC/DC, oznaczone symbolem 6ES7214-1BG40-0XB0 (Rys.2). Wyposażone są one w wyjścia tranzystorowe i umożliwiają sterowanie procesami szybkozmiennymi [2, 4, 6].



Rys. 2. Sterownik Siemens Simatic S7-1200 1214 DC/DC/DC [12]

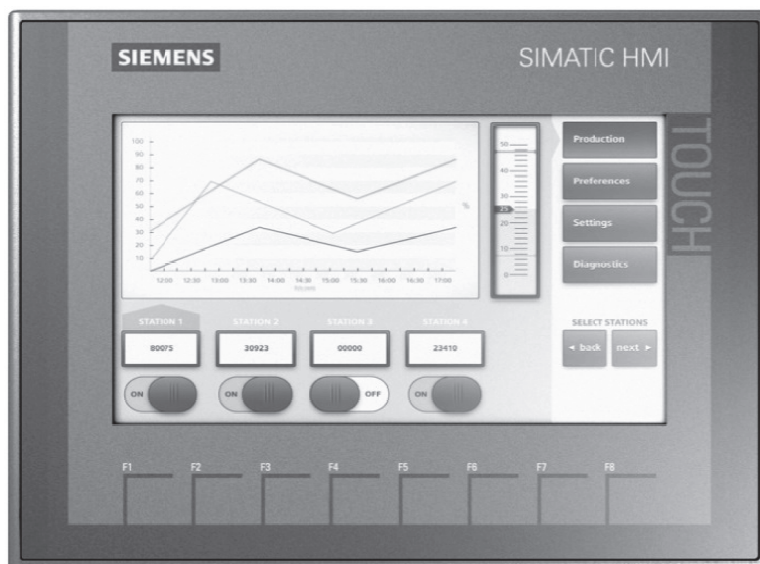
Wykorzystywana w sterowniku jednostka centralna zasilana jest napięciem stałym o wartości 24 V. Posiada 75 KB wbudowanej pamięci roboczej oraz 4 MB pamięci danych, z możliwością jej rozszerzenia za pomocą karty SD. Komunikacja realizowana jest złączem Ethernet (RJ45), z wykorzystaniem protokołu PROFINET. Pozostałe parametry związane z prezentowanym sterownikiem są następujące:

- możliwość dołączenia 3 modułów komunikacyjnych i 8 modułów sygnałowych,
- maksymalna liczba wejść/wyjść cyfrowych wynosi 284,
- maksymalna liczba wejść/wyjść analogowych wynosi 69,
- dwa zintegrowane wejścia analogowe w zakresie 0 - 10 V DC,
- praca z panelami HMI,
- zakres temperatur pracy od -25 °C do +70 °C,

- wbudowane regulatory o specjalistycznym zastosowaniu (np. regulator PWM, PID, silnik krokowy),
- zintegrowany zegar czasu rzeczywistego [12].

5.2. Panel operatorski KTP 700 Basic

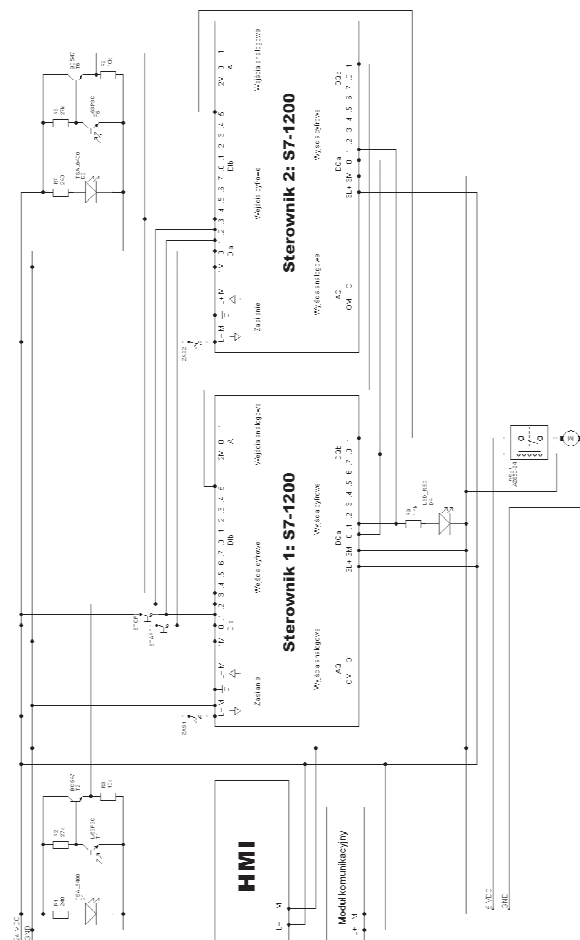
Poza opisanym sterownikiem w zbudowanej makiecie wykorzystano panel HMI (*Human Machine Interface*) KTP 700 Basic PN (Rys.3). Jego podstawowym zadaniem jest komunikacja ze sterownikami PLC oraz wizualizacja zachodzących procesów. Wyposażony został w 7 calowy kolorowy wyświetlacz dotykowy oraz 10 MB pamięci wewnętrznej. Do komunikacji ze sterownikami wykorzystuje łącze Ethernet [6, 13].



Rys. 3. Panel HMI Siemens Simatic KTP 700 Basic PN [13]

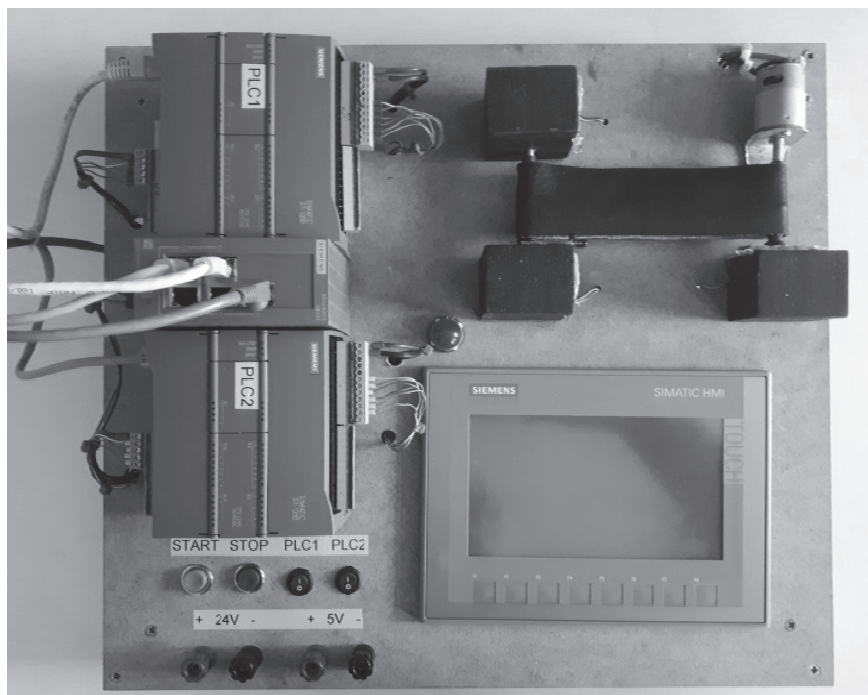
5.3. Układ rozproszonego systemu sterowania

Głównym celem było zaprezentowanie możliwości wykorzystania modułowych sterowników PLC w budowie rozproszonego systemu sterowania DCS. Z założenia, zaprojektowany system pozbawiony został innych elementów, charakterystycznych dla konwencjonalnego systemu DCS. Zaproponowany system ma za zadanie sterować makietą linii produkcyjnej połączonej zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 4 [1].



Rys. 4. Schemat połączeń rozproszonego system sterowania makieta lini produkcyjnej [1]

W zaproponowanym rozwiązaniu nadmiarowość sterowania (redundancję) zrealizowano dzięki zastosowaniu dwóch sterowników Siemens S7-1200. Sterownikiem typu Master jest urządzenie oznaczone jako PLC1 (rys. 5) i jego podstawowym zadaniem jest sterowanie procesem w typowych warunkach pracy. Sterownikiem typu Slave jest urządzenie oznaczone jako PLC2, i jego zadaniem jest przejęcie sterowania procesem w momencie wystąpienia awarii PLC1. W celu zapewnienia poprawnej pracy oba sterowniki zostały połączone równolegle do poszczególnych elementów makiety oraz, w celach wizualizacyjnych do panelu HMI [1].



Rys. 5. Makieta rozproszonego systemu sterowania linią produkcyjną

Zbudowany model układu rozproszonego systemu sterowania linią produkcyjną spełnia postawione zadania, które w wielu aspektach zbliżone są do zadań realizowanych przez komercyjne systemy DCS. Zaproponowana makieta może zostać skutecznie zastąpiona innymi urządzeniami, zainstalowanymi w obiekcie rzeczywistym. Wadą zaproponowanego rozwiązania jest fakt, że oprogramowanie współpracujące ze sterownikami S7-1200 uniemożliwia zdefiniowanie wspólnej bazy danych dla wszystkich zmiennych, w związku z czym są one definiowane osobno dla każdego ze sterowników. Właściwość ta rozróżnia zaproponowany system od komercyjnych systemów DCS.

6. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono zagadnienia związane z wykorzystaniem sterowników PLC w rozproszonych systemach sterowania. Przedstawiono zagadnienia związane z komercyjnymi systemami DCS oraz zaprojektowano i opisano zbudowaną makietę, prezentującą alternatywne rozwiązanie do systemu DCS. Makieta ta zarządzana jest dwoma sterownikami PLC i współpracującym z nimi panelem HMI. Koszt realizacji wykonanego systemu sterowania jest nieporównywalnie niższy od kosztów wykonania analogicznego systemu z wykorzystaniem komercyjnego DCS. Ponadto, w zaproponowanym rozwiązaniu możliwa

jest swoboda wyboru elementów sterujących procesem, które można samodzielnie modyfikować.

Komercyjne systemy DCS chronione są prawami autorskimi i niemożliwym jest uzyskanie szczegółowych danych technicznych oraz wprowadzanie przez użytkownika modyfikacji w już działającym systemie. Zasadniczą i praktycznie jedyną wadą zaproponowanego przez autorów rozwiązania jest konieczność definiowania osobnych baz danych dla każdego ze sterowników. Efektem takiego działania jest konieczność uzupełnienia programu sterującego o polecenia kontrolujące i porównujące zawartość obu baz danych.

Reasumując można stwierdzić, że podczas projektowania rozproszonych systemów sterowania procesem można wykorzystać tylko sterowniki PLC, co przy ich dostępności i coraz niższych kosztach jest alternatywnym rozwiązaniem do komercyjnych rozwiązań DCS.

LITERATURA

- [1] Duda M., Rozproszony system sterowania DCS Praca magisterska pod kierunkiem dr. inż. Arkadiusza Hulewicza, Politechnika Poznańska, Poznań, 2018.
- [2] Brock S., Muszyński R., Urbański K., Zawirski K., Sterowniki programowalne. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2000.
- [3] Parr E.A., Programmable controllers: an engineer's guide Elsevier Ltd, Oxford, 2003.
- [4] Bolton W., Programmable Logic Controllers, Elsevier Ltd, Oxford, 2009.
- [5] Kasprzyk J., Programowanie sterowników przemysłowych. Wydawnictwo Naukowo- Techniczne, Warszawa 2006.
- [6] Parr E. A., Programmable controllers: an engineer's guide Elsevier Ltd, Oxford 2003.
- [7] <https://automatykab2b.pl/tematmiesiaca/6782-rozproszone-systemy-sterowania-wybor-integracja-i-migracja-dcs-ow?limitstart=0#.WsJIRy6uyM8> 25.01.2019.
- [8] <http://www.msipolska.pl/menu-gorne/artukul/article/plc-czy-dcs-wybor-systemu-sterowania-dla-procesow-przemyslowych/>, 25.01.2019.
- [9] Herlender K., Witkowska K., Kralewski A., Zastosowanie systemu DCS w elektrowniach wiatrowych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, nr 7 (48), 2010, ss. 109–114.
- [10] <https://www.elprocus.com/distributed-control-system-features-and-elements/>, 25.01.2019.
- [11] Trybus L., Rozproszone systemy sterowania DCS. Pomiary Automatyka Kontrolna, nr 1 (52), 2006, ss. 26–29.
- [12] <https://support.industry.siemens.com/tedservices/DatasheetService/DatasheetService?format=pdf&mlfbs=6ES7214-1AG40-0XB0&language=en&caller=SIOS>, 25.01.2019.
- [13] <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/302298?ptdi=td&lc=en-PL>, 25.01.2019.

THE PLC CONTROLLER IN THE DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM DCS

The article presents the unconventional usage of PLC controllers in a distributed control system DCS. The functionality, requirements and the costs of installation and operation of commercial DCS systems and those built on the basis of PLC logic controllers were analyzed. The features, the architecture and the structure of DCS systems have been described in detail. The particular attention was paid to the allocation of individual system components to the appropriate layers contained in their structure. In addition, the attention was paid to the measurement, the control and the visualization elements used in distributed systems. The most frequently used solutions, based on a review of example systems, were chosen for this purpose.

(Received: 04.02.2019, revised: 04.03.2019)