

Zygmunt SZYMAŃSKI, Brunon MAREK
Politechnika Śląska, Gliwice

ZASTOSOWANIE STEROWNIKÓW PRZEMYSŁOWYCH W UKŁADACH AUTOMATYZACJI KOPALNIANYCH SYSTEMÓW ŚCIANOWYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono przegląd literaturowy górniczych systemów dyspozytorskich: SMOk oraz ZEFIR, oraz koncepcję sterowania systemem ścianowego. W artykule zamieszczono wybrane algorytmy sterowania rozproszonego oraz schematy obwodów sterujących. Opracowany system sterowania rozproszonego został częściowo sprawdzony w warunkach laboratoryjnych, a procedury sterowania systemu zostały zweryfikowane symulacyjnymi programami komputerowymi.

APPLICATION OF INDUSTRIAL CONTROLLER IN AUTOMATION SYSTEM OF THE MINE WALL SYSTEM

Summary. The paper present's a literature review of mining dispatcher system's: SMOk and ZEFIR, and also an idea of the wall control system. The paper present's a selected algorithms of distributed control and scheme of the control circuit. Treated system of the distributed control was partially verified in laboratory experiments, and procedures of the control system were verified of computer simulation programm.

1. Wstęp

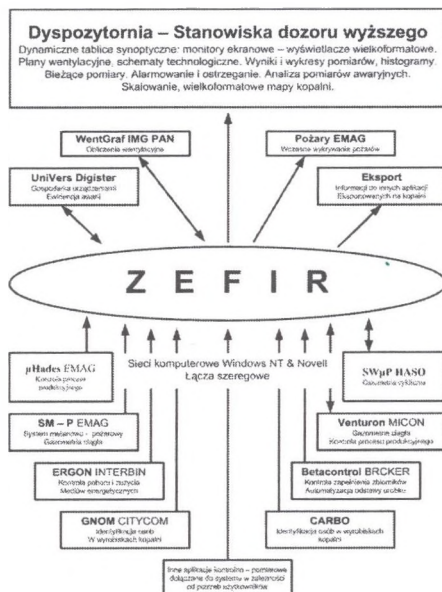
W polskich kopalniach węgla kamiennego stosowane są systemy eksploatacji, oparte na wysokiej koncentracji wydobywania. Wymaga to stosowania wydajnych maszyn urabiających oraz niezawodnych systemów transportowych: transportu poziomego oraz transportu pionowego. Systemy transportu poziomego powinny pracować w sposób ciągły i zapewniać płynny dopływ urobku do stacji załadowniczych na podszybiu lub jego transport bezpośrednio na powierzchnię. Systemy transportu pionowego (skipowe szyby wydobywcze, szyby

zjazdowe) powinny być skoordynowane z dopływem urobku oraz ze zjazdami i wyjazdami załóg górniczych. Dla zapewnienia ciągłości wydobywania węgla należy zastosować nowoczesne: układy sterowania, zabezpieczeń, oraz diagnostyki maszyn urabiających oraz maszyn transportu poziomego (przenośniki łańcuchowe oraz taśmowe). W Katedrze Elektryfikacji i Automatykacji Górniczej Politechniki Śląskiej podjęto prace badawcze, których celem jest zastosowanie sterowników przemysłowych w układach sterowania kopalnianych systemów ścianowych. Analiza przydatności sterowników przemysłowych w układach automatykacji maszyn górniczych, wykazała celowość zastosowania sterowania rozproszonego, w oparciu o sterowniki Simatic S7. W artykule przedstawiono przegląd literaturowy górniczych systemów dyspozytorskich: SMOK oraz ZEFIR, oraz koncepcję sterowania systemu ścianowego. Zamieszczono również wybrane algorytmy sterowania rozproszonego oraz schematy obwodów sterujących. Opracowany system sterowania rozproszonego został sprawdzony w warunkach laboratoryjnych, a procedury sterowania systemu zostały zweryfikowane symulacyjnymi programami komputerowymi.

2. Przegląd literaturowy górniczych systemów dyspozytorskich

System dyspozytorski jest to system nadzorujący proces technologiczny wykonywany w podziemiach kopalń, którego wyniki są przesyłane na powierzchnię liniami telefonicznymi oraz systemami transmisji wielokrotnej. W Dyspozytorni kopalni znajdują się komputery osobiste oraz dynamiczne tablice synoptyczne, na których przedstawiony jest cały proces wydobywania urobku. Dyspozytor zarządza pracą ludzi, dbając o ich bezpieczeństwo, poleca wykonywanie prac remontowych lub kontrolnych, w zależności od parametrów sygnałów wyświetlanych na tablicach. Informacje przesyłane do dyspozytora mają największy priorytet. W polskich kopalniach stosowane są dwa systemy dyspozytorskie: Zefir oraz SMOK-1 [1, 2]. System dyspozytorski SMOK-1 zawiera: system sterowania i kontroli kombajnu ścianowego. (MAKS lub SOMAX-2), system sterowania przenośników łańcuchowych: ścianowych oraz podścianowych, a także system sterowania przenośników taśmowych [2, 3]. Sygnały sterujące są przesyłane do stacji kompaktowej. W stacji znajdują się urządzenia typu: SM-TFli, SM-PM1, służące do komunikacji, nadzoru oraz przetwarzania sygnałów sterujących, które są przetwarzane przez moduł separujący SM-PS1. W stacji lokalnej znajdują się moduły pomiarowe wejść cyfrowych oraz analogowych. Stacja lokalna tworzy tzw. bazę główną, której celem jest gromadzenie informacji z czujników i przetworników umieszczonych

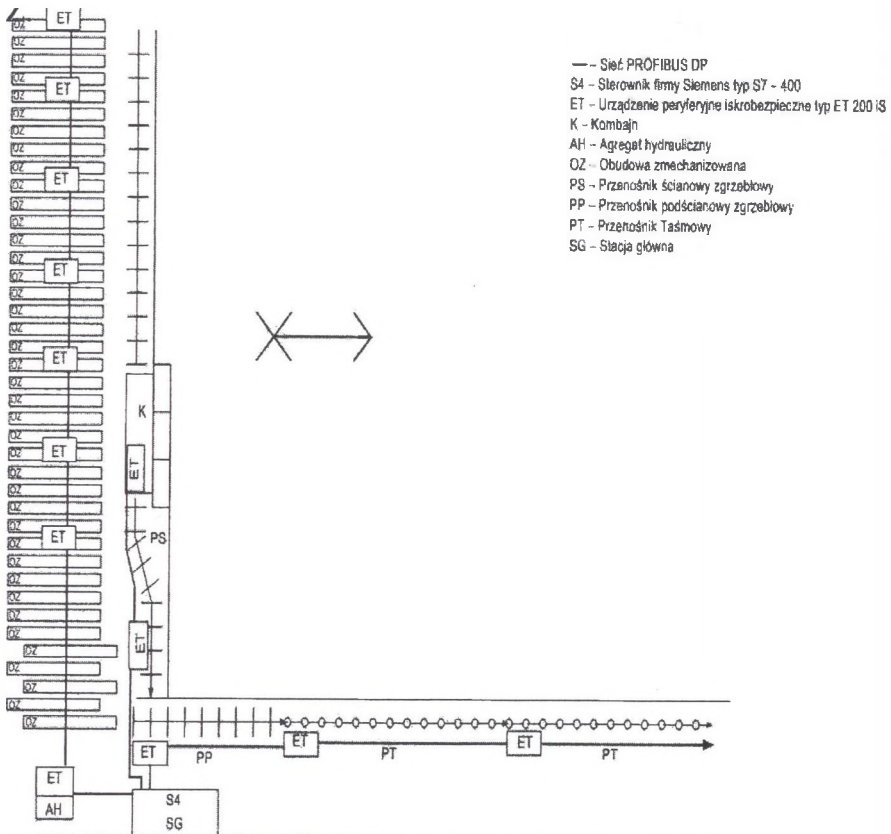
w maszynach urabiających i transportowych jak: przenośniki, obudowy czy agregatu hydraulicznego. Informacje gromadzone w stacji lokalnej po kompresji są przesyłane na powierzchnię przez modem telefoniczny, wykorzystujący system wielokrotnej transmisji. Gwarantowany zasięg transmisji bez regeneracji sygnałów wynosi 10 km. Maksymalna szybkość transmisji wynosi 34600 bodów. System dyspozytorski Zefir [3, 4] umożliwia: gromadzenie danych pomiarowych z nadzorowanego obiektu przez komputer centralny z programem CYKLOP, prezentację zgromadzonych sygnałów na dynamicznych tablicach synoptycznych w dyspozytorni oraz na komputerach, uprawnionych pracowników wyższego dozoru kopalni. Komunikacja między modułami systemu ZEFIR jest realizowana: przy pomocy standardowych sieci komputerowych typu Novell lub Windows NT lub wykorzystując autonomiczne łącza szeregowo w standardzie RS-232, z pełną separacją galwaniczną między poszczególnymi modułami systemu. Wykorzystanie sieci komputerowych oraz oprogramowania aplikacyjnego ZEFIR NT, pracującego pod nadzorem systemu operacyjnego Windows, umożliwia zdalny dostęp do systemu monitorowania za pośrednictwem modemów i łączy telekomunikacyjnych. Stwarza to możliwości zastosowania nieograniczonej ilości stanowisk dozoru wyższego, podłączonych do systemu. ZEFIR współpracuje z systemami kontrolno-pomiarowymi: μ HADES, Betacontrol, VENTURON, Ester-N. Schemat blokowy systemu dyspozytorskiego Zefir przedstawiono na rys.1.



Rys. 1. Schemat blokowy systemu dyspozytorskiego Zefir
 Fig. 1. Block scheme of the dispatcher system Zefir

3. Koncepcja systemu sterowania zautomatyzowanego systemu górniczego

W systemach sterowania i automatyzacji maszyn górniczych wykorzystuje się cyfrowe oraz analogowe czujniki i przetworniki pomiarowe [2, 3]. Transmisja sygnałów sterujących odbywa się w liniach telefonicznych, w systemie transmisji wielokrotnej (jedną parą przewodu telefonicznego można przesyłać 32 informacje). Takie rozwiązanie wymaga zastosowania dodatkowych układów separujących oraz wzmacniaczy sygnałowych. Ogranicza to ilość i wielkość przesyłanych informacji. W artykule przedstawiono koncepcję układu sterowania systemu ścianowego, z zastosowaniem sterowania rozproszonego oraz sieci PROFIBUS DP. Schemat poglądowy układu sterowania systemu ścianowego przedstawiono na rys. 2



Rys. 2. Schemat poglądowy sterowania systemu ścianowego
 Fig. 2. Mine wall control system of the view scheme

W sieci transmisyjnej PROFIBUS-DP wyróżnia się trzy klasy urządzeń:

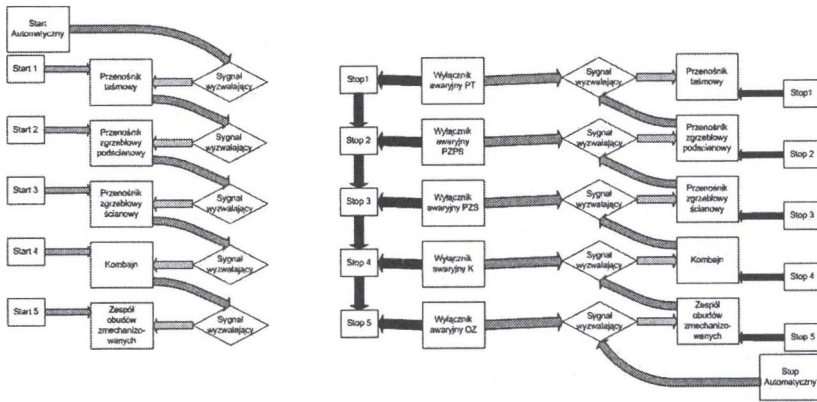
- DP Master 1 – jest to węzeł nadrzędny, spełniający rolę sterownika centralnego, który w cyklu komunikacyjnym wymienia informacje z modułami peryferyjnymi Slave-DP. Są to sterowniki swobodnie programowalne S7 (S7- 400, S7-300).
- DP Master 2 – programatory, konfiguratorzy, układy diagnostyczne lub urządzenia operatorskie. Są one wykorzystywane podczas uruchamiania instalacji oraz zadawania i kontroli pracy całego systemu.
- DP-Slave – pasywne węzły (moduły peryferyjne np. ET200iS) wejść i wyjść cyfrowych, wejść i wyjść analogowych, napędów, zaworów, paneli operatorskich.

Podstawową konfiguracją sieci PROFIBUS-DP jest konfiguracja Mono-Master [2, 4]. W systemie Mono-Master jedna stacja nadrzędna (sterownik PLC albo komputer PC/VME) jest połączona z rozproszonymi układami lokalnymi.[2, 3, 4]. System Mono-Master składa się z: (1 – 125) modułów Slave, jednego modułu DP Master 1, oraz opcjonalnie jednego modułu DP Master 2 (urządzenia do konfiguracji i diagnozowania). System ten zapewnia minimalne cykle transmisyjne. Systemy Mono-Master są w stanie przesać 1 kBitów danych wejściowych i wyjściowych w czasie nieprzekraczającym 2 ms. Sterownik S7-400 można dodatkowo wyposażyć w moduł Industrial Ethernet, co umożliwi pełną wizualizację procesu wydobywczego. Moduły peryferyjne ET200iS są urządzeniami iskrobezpiecznymi. Wyposażenie sterownika w panele monitorujące i diagnostyczne zapewni ciągłość kontroli procesu. Rozbudowane funkcje diagnostyczne oraz szybkie wyszukiwanie błędów pozwolą na minimalizację czasów przestoju oraz wykrywanie stanów awaryjnych. Sterowniki Simatic S7 są wyposażone w funkcję: Routing, która zapewni możliwość podłączenia paneli operatorskich, systemów wizualizacyjnych procesu oraz programatorów zarówno do portu MPI, jak i DP sterowników [3, 4]. System sterowania, wykorzystany w opracowanym układzie jest systemem typu Mono-master. Zawiera on sterownik S7-416-3D umieszczony w stacji głównej (SG) oraz moduły Slave typu ET200iS, jako układy peryferyjne. Sterownik S7-416-3D pełni w systemie sterowania funkcję nadrzędną (funkcje łączeniowe, kontrola stanów awaryjnych, gromadzenie sygnałów oraz ich transmisja przez moduł Ethernet Internet do komputera w Dyspozytorni). Elementami typu Slave są moduły peryferyjne ET200iS, które kontrolują i sterują pracą układów lokalnych (przenośnik, kombajn). W przypadku awarii systemu zapewniają one wizualizację procesu sterowania oraz sygnalizują stany awaryjne, co zapewnia zmniejszenie przerw, spowodowanych stanem awaryjnym systemu. Transmisja danych przez sieć PROFIBUS-DP bazuje na strukturze telegramów o wysokiej efektywności. Dane wejściowe i wyjściowe ze stacji są transmitowane w pojedynczym cyklu odpytywania.

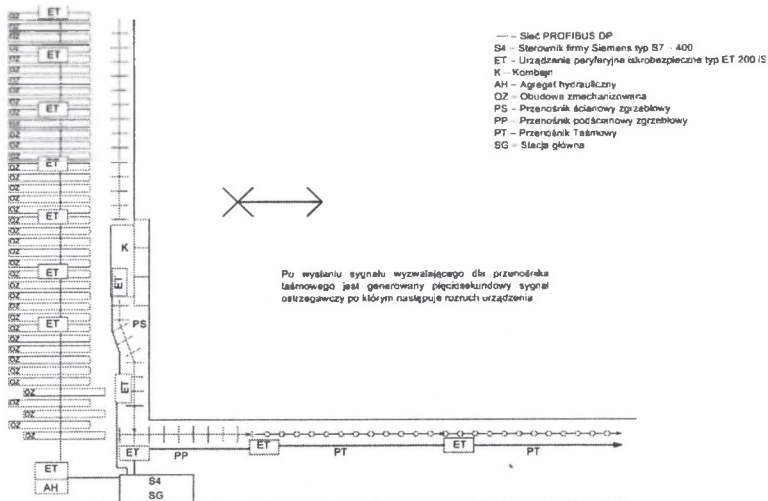
Moduł Master wysyła telegram żądania (Request), który zawiera dane wyjściowe dla DP Slave. Slave odpowiada natychmiast po otrzymaniu zapytania. Każda ramka może zawierać do 244 Bitów informacji. Czas cyklu magistrali w sieci PROFIBUS-DP zależy od prędkości transmisji, która może być zadawana w zakresie (9,6 Kbit/s – 12 Mbit/s). Zapewnia to szybkość i niezawodny przesył informacji. W opracowanym systemie sterowania wykorzystano prędkość transmisji: 1,5 Mbit/s. Jest to prędkość komunikacyjna urządzeń peryferyjnych ET200iS [2,3].

4. Algorytmy sterowania zautomatyzowanego systemu ścianowego

Sterowanie pracą systemu ścianowego obejmuje procedury sterowania nadrzędnego Master całego systemu ścianowego oraz procedury sterowania lokalnego, poszczególnych maszyn i urządzeń systemu: kombajn ścianowy, układ przenośników łańcuchowych, przenośniki taśmowe oraz sterowanie pracą obudów zmechanizowanych. Algorytm sterowania centralnego zawiera procedury, które testują układy przed każdym uruchomieniem, procedury sterowania lokalnego oraz sterowania automatycznego całego systemu i jego modułów, procedury monitorujące system oraz procedury diagnostyczne. W stanach awaryjnych algorytmy sterowania nadrzędnego oraz programy sterujące zapewniają skuteczne wyłączenie poszczególnych modułów lub całego systemu. Obiektem analizy jest system ścianowy, złożony z: kombajnu ścianowego, przenośników łańcuchowych: podścianowego, ścianowego, przenośnika taśmowego oraz układu obudów zmechanizowanych. Dla każdego układu opracowano indywidualne algorytmy: testujące, algorytmy sterowania, monitoringu i diagnostyczne. Algorytmy te zapewniają prawidłową pracę układu, z możliwością wizualizacji parametrów eksploatacyjnych. Programy sterowania lokalnego są umieszczone w pamięci iskrobezpiecznego modułu sterowania rozproszonego typu ET200iS.



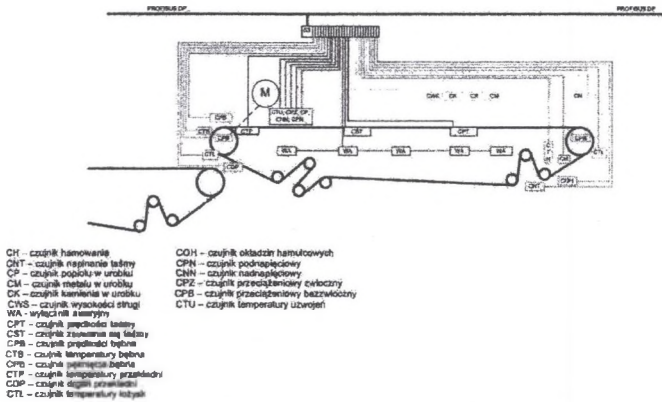
Rys. 3. Schemat blokowy algorytmu załączania systemu ścianowego
Fig. 3. Block scheme of the start algorithm mine wall system



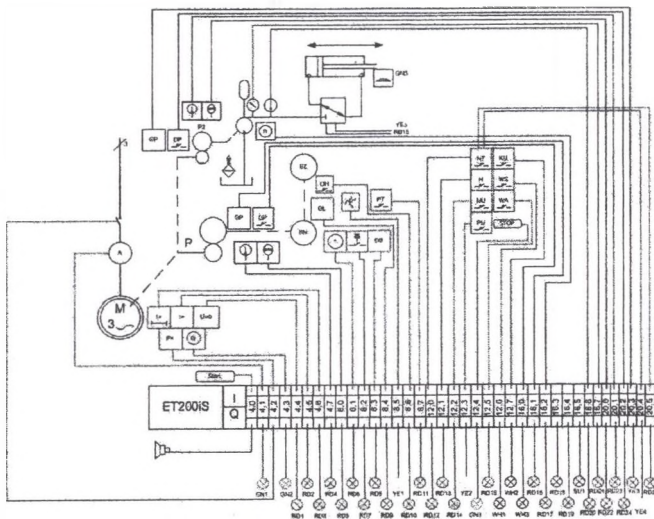
Rys. 4. Schemat blokowy układu sterowania systemu ścianowego
Fig. 4. Block scheme of the mine wall control system

Każdy moduł sterujący jest wyposażony w czujniki i przetworniki pomiarowe do pomiaru parametrów elektrycznych: przetwornik napięcia, przetwornik prądu, przetwornik mocy czynnej, czujnik, oraz zabezpieczeń: zwarciovych, przeciążeniowych, pod- i nad-napięciowych, kierunkowych, kontrola parametrów elektromechanicznych: przetwornik prędkości, przetwornik momentu, przetwornik temperatury oraz kontroli parametrów eksploatacyjnych: czujnik spiętrzenia, czujnik naciągu łańcucha lub taśmy i inne. Algorytm załączania systemu ścianowego przedstawiono na rys. 3 [5, 6]. Na rys. 4 przedstawiono schemat układu sterowania rozproszonego systemu ścianowego, przy rozruchu przenośnika

taśmowego. Sposób rozmieszczenia czujników i przetworników pomiarowych w układzie napędowym przenośnika taśmowego przedstawiono na rys. 5, natomiast na rys. 6 przedstawiono schemat połączeń przetworników pomiarowych.



Rys. 5. Rozmieszczenie czujników pomiarowych w układzie sterowania przenośnika
 Fig. 5. Location of measurement sensors in conveyor control system



Rys. 6. Schemat połączeń czujników pomiarowych przenośnika
 Fig. 6. Measurement sensor connection scheme of the conveyor

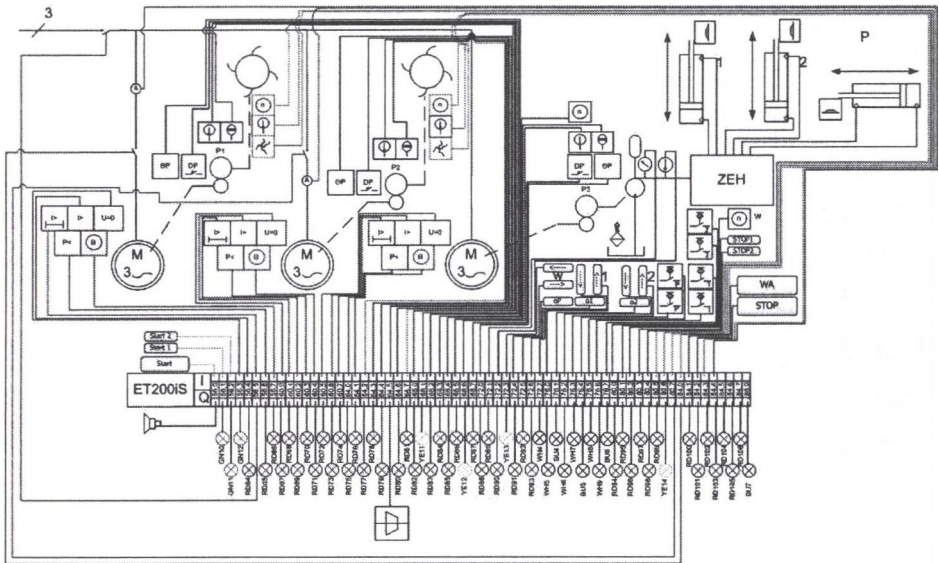
W tabeli 1 zamieszczono zestawienie sygnałów wejść oraz wyjść cyfrowych rozproszonego modułu sterowania przenośnika taśmowego, wchodzącego w skład systemu ścianowego.

Tabela 1

Czujniki i przetworniki pomiarowe przenośnika taśmowego

Przenośnik taśmowy					
Nr	Wejścia	Komentarz	Nr	Wyjścia	Komentarz
I 4,0	START PT	Uruchamia przenośnik	Q 4,0	Głośnik PT	Głośnik informujący rozruch urządzenia 5 s
I 4,1	Czujnik 27	Pomiar prądu silnika uruchamia następne urządzenie, gdy $I=I_n$	Q 4,1	GN1	Lampka informująca start urządzenia
I 4,2	Zabezpieczenie 5	Zabezpieczenie niedomiarowe mocy czynnej	Q 4,2	włącznik PT	Sygnal wysłany na wyłącznik, powodujący załączenie silnika przenośnika
I 4,3	Zabezpieczenie 3	Zabezpieczenie termiczne	Q 4,3	GN2	Sygnal wyzwalający dla następnego urządzenia
I 4,4	Zabezpieczenie 4	Zabezpieczenie napięciowo-zanikowe	Q 4,4	RD1	Informacja o zadziałaniu zabezpieczenia silnika
I 4,5	Zabezpieczenie 2	Zabezpieczenie nadprądowe bezzwłoczne	Q 4,5	RD2	Zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne
I 4,6	Zabezpieczenie 1	Zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne	Q 4,6	RD3	Zabezpieczenie nadprądowe bezzwłoczne
I 4,7	Czujnik 1	Czujnik temperatury oleju	Q 4,7	RD4	Zabezpieczenie termiczne
I 8,0	Czujnik 3	Czujnik poziomu oleju	Q 8,0	RD5	Zabezpieczenie napięciowo-zanikowe
I 8,1	Czujnik 9	Czujnik prędkości obrotowej bębna	Q 8,1	RD6	Zabezpieczenie niedomiarowe mocy czynnej
I 8,2	Czujnik 10	Czujnik zsuwania się taśmy	Q 8,2	RD7	Czujnik temperatury oleju
I 8,3	Czujnik 11	Czujnik temperatury bębna	Q 8,3	RD8	Czujnik poziomu oleju
I 8,4	Czujnik 12	Czujnik temperatury łożysk	Q 8,4	RD9	Czujnik temperatury przekładni
I 8,5	Czujnik 13	Czujnik pęknięcia bębna	Q 8,5	YE1	Czujnik drgań przekładni
I 8,6	Czujnik 14	Czujnik okładzin hamulcowych	Q 8,6	RD10	Czujnik prędkości obrotowej bębna
I 8,7	Czujnik 23	Czujnik prędkości i ciągłości taśmy	Q 8,7	RD11	Czujnik zsuwania się taśmy
I 12,0	Czujnik 15	Czujnik napinania taśmy - naciąg optymalny	Q 12,0	RD12	Czujnik temperatury bębna
I 12,1	Czujnik 18	Czujnik hamowania przenośnika	Q 12,1	RD13	Czujnik temperatury łożysk
I 12,2	Czujnik 19	Czujnik metalu w urobku	Q 12,2	RD14	Czujnik pęknięcia bębna
I 12,3	Czujnik 21	Czujnik popiołu w urobku	Q 12,3	YE2	Czujnik okładzin hamulcowych
I 12,4	STOP PT	Sygnal wyzwalający dla wyłączenia przenośnika	Q 12,4	GN3	Czujnik napinania taśmy - naciąg optymalny
I 12,5	WA PT	Wyłącznik awaryjny	Q 12,5	RD15	Czujnik napinania taśmy - nadmierne napięcia
I 12,6	Czujnik 22	Czujnik wysokości strugi	Q 12,6	WH1	Czujnik metalu w urobku
I 12,7	Czujnik 20	Czujnik kamienia w urobku	Q 12,7	WH2	Czujnik popiołu w urobku
I 16,0	Czujnik 7	Czujnik drgań przekładni	Q 16,0	WH3	Czujnik kamienia w urobku
I 16,1	Czujnik 5	Czujnik temperatury przekładni	Q 16,1	RD16	Czujnik hamowania przenośnika
I 16,2	Czujnik 24	Czujnik prędkości obrotowej pompy	Q 16,2	RD17	Czujnik wysokości strugi

Takie wyposażenie układu sterowania przenośnika zapewnia prawidłową pracę układu sterowania zarówno w stanach awaryjnych, jak i podczas normalnej pracy. Stany awaryjne są sygnalizowane w sposób graficzny: zaświecenie diody czerwonej, komunikat na wyświetlaczu oraz sygnalizacja akustyczna (włączenie buczka). Komputer przemysłowy informuje o przyczynach awarii oraz podpowiada co uległo uszkodzeniu. Na rys.7 przedstawiono rozkład czujników pomiarowych oraz układ sterowania kombajnu ścianowego.



Rys. 7. Rozkład czujników w układzie sterowania kombajnu
Fig. 7. Sensor location in control system of the

Dla układów sterowania systemu ścianowego opracowano algorytmy sterowania lokalnego dla: kombajnu ścianowego, przenośników łańcuchowych, przenośnika taśmowego oraz zespołu obudów zmechanizowanych. Program główny z komputera centralnego steruje pracą całego systemu, uwzględniając narzucone priorytety sterowania oraz współpracuje z modułami sterowania lokalnego. Opracowane programy symulacyjne potwierdziły poprawność opracowanych algorytmów sterowania oraz pozwoliły zweryfikować pewne usterki. W ramach dalszych prac, prowadzonych na Politechnice Śląskiej nad modyfikacją układów sterowania maszyn górniczych, zostaną przeprowadzone badania laboratoryjne oraz badania na rzeczywistym obiekcie. Dotychczasowe wyniki badań laboratoryjnych potwierdziły założenia przejęte do opracowanej metodyki sterowania maszyn górniczych.

5. Zakończenie

Zastosowanie sterowników przemysłowych w układach sterowania maszyn górniczych oraz systemów ścianowych zapewni realizację złożonych algorytmów sterowania: sterowanie energooszczędne oraz bezawaryjne z możliwością bieżącej kontroli wybranych parametrów eksploatacyjnych i diagnostyki całego systemu oraz jego zespołów. Wprowadzenie sterowania rozproszonego zapewnia realizację sterowania lokalnego oraz sterowania centralnego, z uwzględnieniem narzuconych priorytetów sterowania. Zaproponowane w artykule rozwiązanie może (w pewnych przypadkach) być rozwiązaniem konkurencyjnym w stosunku do kosztownych i złożonych rozwiązań firm profesjonalnych.

LITERATURA

1. Antoniak J.: Urządzenia i systemy transportu podziemnego w kopalniach. Wyd. Śląsk, Katowice 1990 r.
2. Doliński M., Remiorz E.: Przenośnik zgrzeblowy jako obiekt sterowania. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa* nr 2 (319) 1997 r.
3. Jaszczuk M., Krodkiwski J.: Sterowanie elektrohydrauliczne zestawami obudowy zmechanizowanej wymogiem nowoczesnego górnictwa. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa* nr 8 (357) 2000 r.
4. Sikora W., Jagła J, Krodkiwski J.: Układy i urządzenia hydrauliczne sekcji obudowy elektrohydraulicznego sterowania ESTER – N. *Mechanizacja i automatyzacja Górnictwa* nr 6/7 (323) 1997 r.
5. Szymański Z.: Zastosowanie metod sztucznej inteligencji do sterowania, monitorowania i diagnostyki górniczych maszyn transportowych i urabiających. Komag Szczyrk 7-9.11.2000 r.
6. Szymański Z.: Nowoczesne, energooszczędne układy zasilania górniczych maszyn urabiających i transportowych napędzanych silnikami zintegrowanymi. Komag Szczyrk 7-9.11.2000 r.

Recenzent: Dr hab. inż. Kazimierz Jaracz, prof. AP