

Dariusz **KOT**

SYSTEM STEROWANIA DO KOMBAJNU CHODNIKOWEGO, WYKORZYSTUJĄCY MAGISTRALĘ CAN

Streszczenie: Restrukturyzacja kopalń doprowadziła do znacznego ograniczenia liczby czynnych ścian w kopalniach węgla kamiennego, wyposażonych w maszyny o dużej wydajności. Uzyskanie zwiększenia koncentracji wydobywania w tych obszarach było możliwe po zabudowie lub udoskonaleniu systemów sterowania oraz elektronicznego nadzoru pracy maszyn. Wzrastająca złożoność rozwiązań konstrukcyjnych, wymagań funkcjonalnych i mocy zainstalowanej w maszynach skutkuje wzrostem zainteresowania użytkowników systemami i aparaturą wspomagania elektronicznego pracy maszyn. W Centrum EMAG opracowano systemy i urządzenia, od których wymaga się niezawodnej pracy w trudnych warunkach górniczych. W systemach tych jest to możliwe dzięki zastosowaniu najnowszych rozwiązań układów pomiarowych i rejestracji danych w czasie rzeczywistym. Cechą charakterystyczną tych działań jest stała tendencja do sprostania aktualnym potrzebom górnictwa nie tylko węgla kamiennego, ale również zagranicznych kopalń soli potasowej. W referacie przedstawiono system pracujący na kombajnie chodnikowym, w którym urządzenia i czujniki połączone są za pomocą magistrali CAN.

Słowa kluczowe: diagnostyka, iskrobezpieczne sterowanie, maszyny górnicze

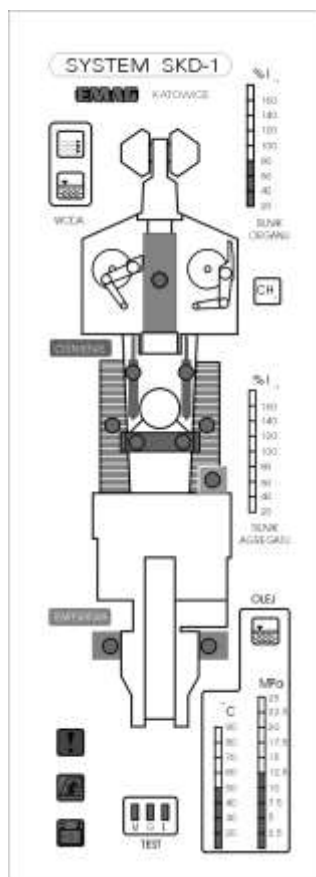
1. RYS HISTORYCZNY

Centrum Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa EMAG rozpoczął realizować szeroki program naukowo-badawczy w zakresie automatyzacji kombajnów chodnikowych już w roku 1983. Prace rozpoczęto badaniami wstępnymi systemu sterowania i automatyki kombajnu stabilnie posadowionego na spągu. System typu MUSK-2 zastosowany w kombajnie typu KX-100 realizował między innymi automatyczne wykonanie skrawu korekcyjnego zgodnie z obrysem określonej obudowy chodnikowej typu ŁT- x. W systemie wykorzystano układ laserowy do korekty położenia głowicy w przypadku przemieszczenia się korpusu kombajnu w stosunku do płaszczyzny odniesienia. W ówczesnych czasach było to poważne wyzwanie dla zespołu konstruktorów. System przeszedł pełny cykl badań stanowiskowych, jak również badań eksploatacyjnych na kombajnie KX-100 w kopalni „Szczygłowice”.

Do idei wyposażenia kombajnu chodnikowego w układ elektroniczny powrócono dopiero w 1995 roku z zamiarem opracowania układu diagnostyki kombajnu AM-50, w celu osiągnięcia poprawy jego niezawodności oraz wprowadzenia obiektywnej kontroli poprawności eksploatacji maszyny. W wyniku tych prac powstał system SKD-1, który składa się z zestawu modułów iskrobezpiecznych i odpowiedniego wyposażenia skrzyni aparaturowej kombajnu. System ten przeznaczony jest do prowadzenia bieżącej kontroli i diagnostyki pracy kombajnu chodnikowego, z jednoczesną wizualizacją na monitorze stanów kontrolowanych (rysunek 1) i możliwością ich rejestracji w pamięci półprzewodnikowej systemu. Uzyskany zapis może być przeniesiony za pomocą czytnika – rejestratora do powierzchniowego stanowiska komputerowego i następnie poddany analizie i archiwizacji. System posiada dodatkowe wyposażenie w postaci radionadajnika NSKD-1 i radioodbiornika OSKD-1 współpracującego z linią telefoniczną. Łączy to umożliwia bieżący przekaz danych diagnozowanego kombajnu chodnikowego na powierzchnię kopalni. Po raz pierwszy takie rozwiązanie zastosowano w kopalni „Bogdanka” [1].

W ostatnich latach w Zakładzie Automatykacji Urządzeń Dołowych (obecnie Zakładzie Automatyki Przemysłowej) Centrum EMAG wzbogaciło ofertę wyrobów o kilka urządzeń, które są używane do budowy systemów monitorowania i sterowania,

pozwalających wykorzystać możliwości mikrokontrolerów, do aplikacji algorytmów sterowania, wymaganych przez producentów, jak również przez użytkowników maszyn.



Rys. 1. Monitor systemu SKD-1

2. ZDEFINIOWANIE OBIEKTU

Podczas prowadzenia wydobycia soli zdarzają się nagłe wyrzuty gazów skumulowanych w caliznie rudy, stanowiące niebezpieczeństwo dla obsługujących maszynę. Odnotowano kilka wypadków śmiertelnych, które w wyniku samoistnych wyrzutów gazów spowodowały powstanie wydmuchu o sile przesuwającej kombajn wraz z osprzętem na odległość kilkudziesięciu metrów. Dla zapewnienia wzrostu bezpieczeństwa pracy załogi poprzez oddalenie operatora na bezpieczną odległość i wprowadzenie automatyzacji części procesu wydobywczego, w Centrum EMAG zaprojektowano i wykonano System Sterowania Kombajnu SUK-1. Takie rozwiązanie systemu pozwoliło podnieść możliwości eksploatacyjne maszyny, przy minimalizacji koniecznych zmian w konstrukcji mechanicznej kombajnu. System został wdrożony w kopalni soli na Białorusi w kombajnie typu URAL-10A (rysunek 2) produkowanym przez Zakład Budowy Maszyn KMZ w Kopejsku koło Czelabińska. Masa kombajnu wynosi 63 tony, a maksymalna prędkość manewrowa wynosi 3m/min. Suma mocy elektrycznej wynosi 527kW przy napięciu zasilania 660V AC. W tym rozwiązaniu nie ma odstawy w postaci przenośnika taśmowego, a rudę odprowadza się poprzez zbiornik magazynujący tzw. bunkier. Jest on ciągnięty przez kombajn, a zainstalowany wewnątrz bunkra przenośnik służy do równomiernego rozłożenia rudy i do całkowitego opróżnienia bunkra do podjeżdżającego samochodu - wagonu.



Rys. 2. Kombajn URAL-10A na targach Ugol-Mining 2004 Donieck

3. ZAŁOŻENIA SYSTEMU

Dotychczas sterowanie pracą kombajnu odbywało się tylko w trybie ręcznym za pomocą dźwigni ręcznych przedłużających elementy wykonawcze, wykonane w postaci suwakowych rozdzielaczy hydraulicznych. Założono, że ręczny tryb pracy powinien zostać zastąpiony pracą automatyczną, uwzględniającą posuw kombajnu, proces wiercenia, równomierne rozłożenie rudy w bunkrze i rozładowanie bunkra do wagonu. Równocześnie należało ograniczyć czas obecności załogi przy pracującym kombajnie do minimum, pozostawiając ją tylko w trakcie przesypywania urobku z bunkra do wagonu. W tym czasie operator ma możliwość wprowadzenia zmian dotyczących trajektorii ruchu kombajnu i sprawdzenia postępu prac. Ponadto założono, że niektóre parametry pracy kombajnu będą wymagały zmian, które może wprowadzić sam operator maszyny. System SUK umożliwia również bieżącą diagnostykę pracy maszyny w ograniczonym zakresie.

4. BUDOWA SYSTEMU

Zasadniczym elementem systemu SUK-1 (rys. 3) jest mikroprocesorowy Pulpit Operatorski POp-1, stanowiący interfejs dla użytkownika, w szczególności dla operatora serwisowego, który może zmieniać w określonym zakresie wartości parametrów pracy systemu. Na ciekłokrystalicznym graficznym wyświetlaczu Pulpitu Operatorskiego, umieszczonym w kabinie operatora, podawane są informacje o aktualnie wykonywanej czynności w postaci odpowiednich piktogramów oraz wystąpienia ewentualnych stanów awaryjnych - w postaci komunikatów alfanumerycznych. System Sterowania Kombajnu SUK-1 umożliwia pracę w trybie automatycznym, ale pozostawiono również możliwość pracy w trybie ręcznym - wprost za pomocą iskrobezpiecznych rozdzielaczy pilotowych oraz w trybie półautomatycznym – za pomocą przycisków umieszczonych na Pulpicie Sterującym

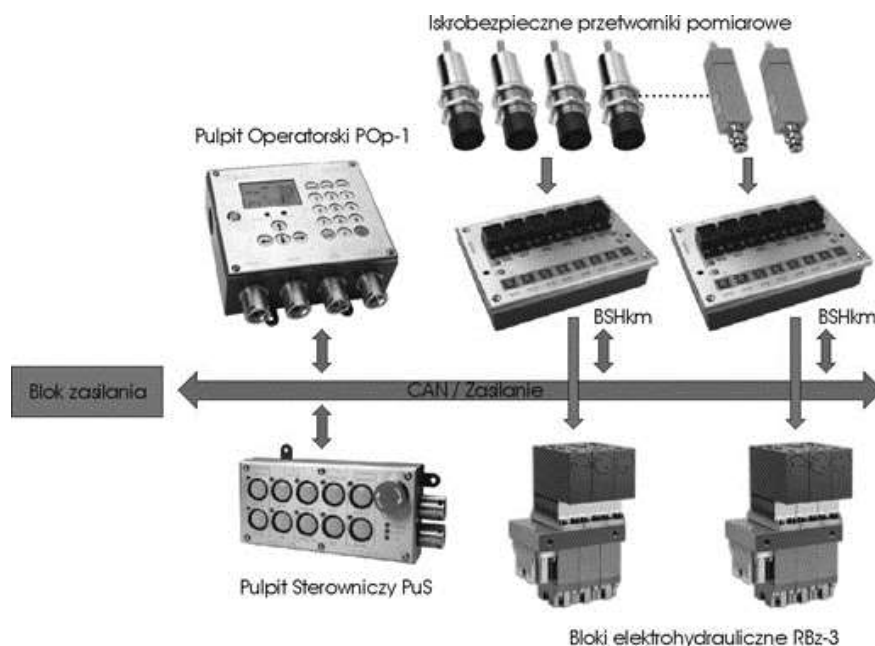
typu PuS-10. Jest on wyposażony w dziesięć przycisków z diodami świecącymi, umożliwiającymi sterowanie funkcjami kombajnu. Diody załączane są jednak dopiero w momencie uzyskania sygnału zwrotnego z odpowiedniego elementu wykonawczego, uzyskując w ten sposób bieżącą kontrolę jego pracy. Pulpit ten jest umieszczony w kabinie w miejscu najlepiej dostępnym dla operatora. Jako część wykonawczą układu hydraulicznego zastosowano sześć podwójnych rozdzielaczy elektrohydraulicznych RBz, uruchamianych poprzez sterowniki pilotowane typu ZES-40. Sygnał sterujący pochodzi z Bloków Sterowania Hydrauliki i Kontroli Mechanizmów BSHkm, które pełnią również rolę koncentratora sygnałów z przetworników pomiarowych i wstępnego przetwarzania danych. Bloki te przystosowane są do montażu na korpusie maszyny wydobywczej w strefie chronionej przed narażeniami mechanicznymi. Każdy BSH posiada pięć wyjść sterujących, z możliwością redukcji prądu wyjściowego do wartości 50% prądu maksymalnego. Specjalny układ pomiarowy służy do lokalizacji ewentualnego uszkodzenia (zwarcia lub rozwarcia cewki elektromagnesu) poprzez pomiar natężenia prądu, wykorzystywanego do bieżącej diagnostyki. Koncentrator umożliwia podłączenie czujników z różnymi standardami sygnałów wyjściowych, tj.: prądowym 4..20mA, niskoprądowym 0,2..1mA, rezystancyjnym, bezpośrednio z elementów termorezystancyjnych typu PT100, impulsowym TTL i dwustanowym [2].

System SUK-1 korzysta z następujących sygnałów pomiarowych:

- minimalne i maksymalne wysunięcie karetek – cztery przetworniki do identyfikacji skrajnych położenia karetek podczas wiercenia w spągu i stropie typu **ICZ-1**, działających na zasadzie wykrywania obecności metalowych części w niewielkiej odległości od czoła czujnika;
- zasypanie bunkra z przodu i tyłu – przetwornik stykowy, który zmienia swój stan na podstawie rezystancji pomiędzy sondą a obudową bunkra w zależności od poziomu rudy;
- blokada wiertła – typu **RCC-2**, progowy przetwornik ciśnienia, zmieniający swój stan w wyniku podwyższenia ciśnienia w układzie silnika hydraulicznego napędzającego,
- posuw maszyny – typu **RCC-2**, progowy przetwornik ciśnienia, podłączony do układu hydraulicznego sterującego posuwem kombajnu;
- dwustanowy pomiar obecności wagonu – przełącznik stykowy, który zmienia swój stan pod wpływem podjechania wagonu do bunkra.

Wszystkie bloki systemu oprócz ww. przetworników połączone są ze sobą za pomocą magistrali systemowej (rys. 3), służącej do transmisji danych zgodnych ze standardem CAN (Controller Area Network). Dzięki temu możliwa jest szybka wymiana informacji pomiędzy przetwornikami, a układem decyzyjnym. Linie transmisyjne CAN_H i CAN_L wraz z liniami zasilania tworzą fizycznie jeden kabel, w którym poszczególne żyły są ekranowane, zapewniając w ten sposób nieuszkodzalność przewodu magistralnego w rozumieniu normy dotyczącej obwodów iskrobezpiecznych. System zasilany jest ze skrzyni aparatury elektrycznej poprzez iskrobezpieczny blok zasilania i stabilizator liniowy 12V DC/ 5V DC.

Magistrala CAN zapewnia możliwość komunikowania się elementów sieci ze sobą z maksymalną prędkością transmisji do 1 Mbit/s do odległości 40 m (przy obniżeniu prędkości transmisji zwiększeniu ulega dystans pomiędzy urządzeniami) [3]. W omawianym przypadku prędkość ta została ograniczona do 250 kbps ze względu na konieczność spełnienia wymagań związanych z budową obwodów iskrobezpiecznych. Dane przesyłane są za pomocą komunikatów, które rozpoznawane są przez tzw. identyfikatory. W mikrokontrolerach bloków systemu zaimplementowana jest automatyczna obsługa dostępu do magistrali i sprzętowa obsługa błędów.



Rys. 3. Elementy systemu SUK-1

Ze względu na specyficzny charakter pracy systemu konieczne było wykonanie wszystkich podzespołów jako urządzeń do pracy w trudnych warunkach środowiskowych, a ponadto zgodnie z normami obowiązującymi przy budowie urządzeń pracujących w strefach zagrożonych wybuchem metanu i pyłu węglowego. Wiąże się to oczywiście z pewnymi ograniczeniami związanymi z zapewnieniem cechy iskrobezpieczeństwa, przede wszystkim wymaganym stopniem ochrony obudowy urządzeń, (jeśli pracują poza skrzynią ognioszczelną), specjalną konstrukcją złącz kablowych, budową kabla magistralnego. Dla urządzeń zewnętrznych iskrobezpiecznych wymagany jest stopień ochrony obudowy co najmniej IP54. Łączenie urządzeń kablem magistralowym musiało być zrealizowane w oparciu o Szybkozłącze Górnicze Hermetyczne SGH-4, zapewniające bezpieczną eksploatację urządzeń automatyki w przodkach wydobywczych, w warunkach występowania ekstremalnego zagrożenia wilgocią, pyłem oraz zasoleniem. Dzięki specjalnej konstrukcji istnieje możliwość szybkiego odłączenia układu, przy zachowaniu odpowiedniej wytrzymałości mechanicznej i szczelności podczas połączenia.

Wprowadzenie odpowiednich rozwiązań związanych z zachowaniem wymagań obwodu iskrobezpiecznego ogranicza działania w porównaniu do układów bez takich wymagań. Wystąpiła konieczność zabezpieczenia magistrali CAN pod względem elektrycznym, co wpłynęło na zmniejszenie szybkości transmisji danych do 250 kbps, pomimo całkowitej długości magistrali nie większej niż 10 metrów, przy braku dodatkowych odczepów.

5. FUNKCJE SYSTEMU

System uruchamia się samoczynnie po podaniu napięcia zasilania na maszynę, dokładniej mówiąc po pojawieniu się napięcia 36V AC na uzwojeniu wtórnym transformatora w skrzyni aparaturowej maszyny. Domyślnym trybem sterowania jest tryb półautomatyczny, gdyż przejście w tryb automatyczny wymaga ustawienia kombajnu względem chodnika w pożądanym położeniu.

Kombajn realizuje tzw. przerywany cykl pracy, przy czym technologiczna przerwa w urabianiu polega na zatrzymaniu kombajnu, przeprowadzeniu wiercenia w spągu i w stropie, a następnie na opróżnieniu bunkra. Wiercenie odbywa się za pomocą wiertel osadzonych w uchwytych, które wraz z silnikami hydraulicznymi stanowią wyposażenie dwóch karetek. Na uwagę zasługuje fakt, że sam proces wiercenia w spągu i w stropie jest kontrolowany, tzn. w przypadku klinowania się wiertła realizowana jest procedura ponownego wprowadzenia wiertła w ruch obrotowy, po uprzednim wyprowadzeniu go z otworu. Czasy związane z tą procedurą są parametryzowane. Opróżnienie bunkra odbywa się za pomocą zainstalowanego w nim przenośnika zgrzeblowego, który przenosi rudę do podstawionego przez operatora wagonu transportowego. System, załączając przenośnik powoduje przesunięcie się rudy w kierunku części tylnej, powodując równomierne rozmieszczenie rudy w całym zbiorniku. Po odliczeniu czasu potrzebnego na oddalenie się na bezpieczną odległość rozpoczyna się ponowne urabianie rudy i wypełnianie bunkra.

Zgodnie z ustawionymi parametrami wybiegu czasowego i przerwy pomiędzy poszczególnymi wierceniami, układ zatrzymuje kombajn i rozpoczyna cykl wiercenia otworów w spągu i w stropie. Powoduje to odprężenie calizny rudy i zmniejsza ryzyko wyrzutów gazów.

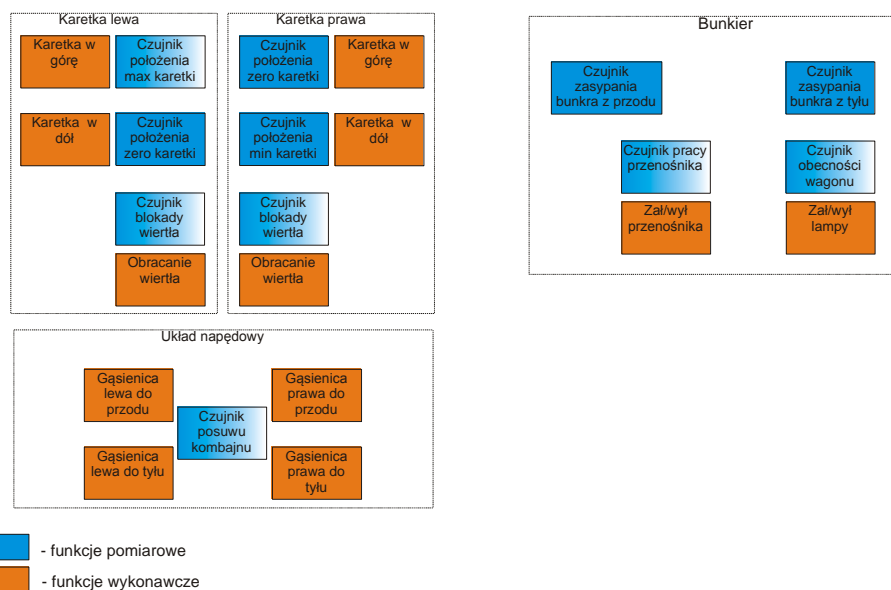
Zaletą systemu jest udostępnienie niektórym użytkownikom menu z parametrami, które umożliwiają zmianę działania algorytmu, a przede wszystkim dopasowanie algorytmu do wartości wielkości fizycznych, wynikających z działania obiektu rzeczywistego. Do parametrów tych należą m.in.:

- prędkość posuwu – zależy od ustawienia na mechanicznym reduktorze wydajności pompy hydraulicznej napędzającej gaśnice;
- opóźnienie automatyki – czas opóźnienia od momentu aktywowania trybu automatycznej pracy do momentu rozpoczęcia działania algorytmu;
- czas czyszczenia – czas, na jaki włączany jest przenośnik w bunkrze, w przypadku gdy wykryto wypełnienie bunkra w części przedniej;
- czas po załadunku – opóźnienie rozpoczęcia algorytmu po wyładunku rudy z bunkra;
- opóźnienie STn – czas wymagany do podtrzymania wymuszenia posuwu karetki z wiertłem;
- max. czas wiercenia – maksymalny czas, w którym powinien zakończyć się proces wiercenia;
- min. czas wiercenia – minimalny czas, przed upływem którego nie powinien zakończyć się proces wiercenia.

Ponadto możliwa jest zmiana ustawień ogólnych, takich jak: język menu, zegar, podświetlenie wyświetlacza i hasło. Oprogramowanie zostało napisane i wprowadzone do mikrokontrolerów poszczególnych bloków systemu przy użyciu kompilatora C i debuggera (rys. 5). W modułowym oprogramowaniu wyróżnia się procedury realizujące poszczególne stany procesu technologicznego związanego z maszyną, zgodnie z założonym algorytmem.

Pulpit Operatorski zawiera główny algorytm działania systemu, zarządzając również wymianą danych, wypracowywanych w pozostałych blokach systemu. Oprócz odczytu wskazań poszczególnych czujników, komunikatów alarmowych i historii awarii, menu pozwala na sprawdzenie stanu magistrali systemowej CAN. Wyświetlana jest informacja o wykryciu: podłączenia modułów systemu, liczby błędnych ramek po stronie odbiornika i nadajnika CAN, przejścia magistrali w stan pasywny po przekroczeniu dozwolonej liczby błędów nadawania lub odbioru (Bus off), dodania bitu o przeciwnej wartości, gdy w ramce transmitowanych jest więcej niż pięć bitów tej samej wartości (Stuff terror), naruszeniu

ustalonej zawartości ramki transmisyjnej, w porównaniu do wzorca (Form error) oraz braku potwierdzenia transmisji (Ack error).



Rys. 4. Podział elementów systemu ze względu na funkcje



Rys. 5. Plansza powitalna

6. DOŚWIADCZENIA Z OKRESU WDRAŻANIA SYSTEMU

Po montażu i uruchomieniu systemu przeprowadzono próby funkcjonalne, które polegały przede wszystkim na sprawdzeniu działania poszczególnych elementów wykonawczych w trybie ręcznym, półautomatycznym. Przeprowadzono strojenia układu hydraulicznego, ustalono położenia czujników obecności karetek stanowisk wiertniczych, a następnie ustawiono próg zadziałania czujników progowych ciśnienia dla wykrycia posuwu kombajnu i blokowania się wiertła. Następnie przeprowadzono próby działania w trybie automatycznym, określając wcześniej niezbędne parametry techniczne, jak prędkość kombajnu, czas potrzebny na wywiercenie w spągu i stropie itp. Sprawdzone reakcję kombajnu na awarie związane z opóźnieniem reakcji układu hydraulicznego przy wywołaniu danej funkcji oraz na symulowane uszkodzenia kabla magistralnego.

W wyniku tych działań dodano parametr inercji czujnika zbliżenia krańcowego położenia karetek, ze względu na brak w pierwszym rozwiązaniu zamka hydraulicznego, uniemożliwiającego samoczynne obniżanie się karetek. W celu dalszego zwiększenia efektywności pracy kombajnu w trybie automatycznym, dopuszczono wiercenie w czasie

rozładunku rudy z bunkra, a krok wiercenia uzależniono od liczby rozładunków bunkra, z zachowaniem niezależnych zmiennych liczników dla każdego z wiertel. Dzięki takiemu rozwiązaniu nie powstają dodatkowe przerwy technologiczne, wynikające z konieczności oczekiwania na przyjazd wagonu transportowego do bunkra. Wzrost efektywności pracy kombajnu został osiągnięty również ze względu na zautomatyzowanie procesu wiercenia monitorującego proces pod względem możliwości powstania blokady wiertła.

7. WNIOSKI

Praktyka potwierdziła, że wybór magistrali CAN jako standardu do transmisji sygnałów pomiędzy poszczególnymi urządzeniami w systemie, dokonany przez pracowników Zakładu Automatyki Przemysłowej Centrum EMAG był właściwy. Z powodzeniem wdrożyli oni szeroką gamę urządzeń sterowania i kontroli procesów wydobywczych, stosując właśnie magistralę CAN. System sterowania kombajnu chodnikowego jest dobrym przykładem zastosowania tego szybkiego i niezawodnego interfejsu komunikacyjnego. Pozwoliło to na ograniczenie okablowania na maszynie, zapewniając równocześnie możliwość rozbudowy o dalsze elementy, przy zachowaniu dużej przepustowości, dużej odporności na zakłócenia i niezawodności. W zakładzie prowadzone są dalsze prace nad wdrożeniem innych czujników i urządzeń, które będą mogły rozszerzyć ofertę handlową.

8. LITERATURA

- [1] KOT D., LIGARSKI R.: „Radiowy system RSKD-1 do kontroli i diagnostyki kombajnu chodnikowego” Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa, nr 9(369), Katowice 2001.
- [2] „System Sterowania i Diagnostyki SUK do kombajnu chodnikowego typu URAL10A” Dokumentacja Techniczno – Ruchowa, Katowice 2006
- [3] NAWROCKI W.: Rozproszone systemy pomiarowe. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2006

CONTROL SYSTEM FOR HEADING MACHINE UTILIZING THE CAN BUS

Abstract: Mines restructuring caused significant reduction of operating walls in coal mines equipped with machines of high efficiency. Obtaining the increased concentration of output in these zones was possible after construction or improvement of control systems and the electronic supervision of machine operation. The increasing complexity of construction solutions, functional requirements and installed power in machines results in growth of users' interest in systems and electronic support instruments of machines operation. Systems and devices which have to reliably operate under severe mining conditions have been developed in the EMAG Centre. These systems enable it due to application of the state-of-the-art solutions of real-time systems for measuring and recording data. The characteristic feature of these actions is constant tendency to meet not only hard coal mining requirements but the current mining needs, including foreign mines of potash salt as well. The paper presents the system that operates in a heading machine in which devices and sensors are connected using the CAN bus.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Stanisław WASILEWSKI