

inż. ANDRZEJ HALAMA
mgr inż. PIOTR LOSKA
mgr inż. PIOTR SZYMAŁA
Instytut Technik Innowacyjnych EMAG

Diagnostyka i inteligentne sterowanie w procesie drążenia wyrobisk korytarzowych

Bacne obserwacje światowych trendów rozwoju branży wydobywczej, w aspekcie potrzeb i oczekiwań użytkowników maszyn i urządzeń górniczych spowodowały, że Instytut Technik Innowacyjnych EMAG podjął prace mające na celu wprowadzenie innowacyjnych rozwiązań w nowym systemie diagnostyki i sterowania maszyn przeznaczonych do drążenia wyrobisk korytarzowych. W artykule omówiono nowy układ bezprzewodowego sterowania i rozbudowanej diagnostyce maszyny, w oparciu o system SKD-2M, z innowacyjnym rozwiązaniem umożliwiającym kierunkową nawigację kombajnu chodnikowego w osi wyrobiska. Zastosowane w systemie SKD-2M rozwiązania z technologiami monitorowania obrysu przodka oraz prowadzeniem maszyny w wyrobisku, w odniesieniu do większości obecnych systemów, poprzez zwiększenie stopnia automatyzacji drążenia i predykcji parametrów pracy maszyny odpowiadającym chwilowym warunkom urabiania, pozwoli na podniesienie stopnia wykorzystania potencjału technicznego maszyny. Nastąpi również ograniczenie zużycia maszyny wynikającego z niewłaściwej eksploatacji, zmniejszenie energochłonności procesu urabiania oraz podniesienie poziomu bezpieczeństwa w przodku chodnikowym. Wpłyne to korzystnie na efektywność drążenia wyrobisk korytarzowych, co ma istotne znaczenie dla ekonomiki zakładu górniczego.

1. WPROWADZENIE

Wdrożony w 2007 roku przez Instytut Technik Innowacyjnych EMAG układ sterowania MAKS-DBC zdobył uznanie i znalazł zastosowanie w licznych kombajnach ścianowych w kraju i za granicą. Stały rozwój technologiczny oraz coraz większy nacisk na zwiększenie bezpieczeństwa i ochronę zdrowia ludzi, szczególnie w miejscach o największych zagrożeniach i możliwościach wypadków, do których bez wątplenia należy przodek wyrobiska chodnikowego, były przesłanką podjęcia prac nad nowym systemem sterowania i diagnostyki kombajnu chodnikowego.

Nie wszystkie eksploatowane obecnie kombajny chodnikowe klasy lekkiej i średniej przeznaczone do drążenia wyrobisk korytarzowych, w porównaniu z kombajnami ścianowymi, posiadają rozbudowane inteligentne systemy sterowania i diagnostyki. Po-

mimo wprowadzania do górnictwa maszyn z najnowszymi układami sterowania, znaczna ilość kombajnów chodnikowych średniej klasy nie posiada systemów z technologiami monitorowania oraz profilowania obrysu przodka i prowadzenia maszyny w osi wyrobiska, jak również pełnego zapewnienia bezpieczeństwa w przypadku wyrzutu skał i gazów [1]. Zastosowanie zdalnego sterowania i bezprzewodowych metanomierzy z pomiarem on-line oraz zwiększenie stopnia automatyzacji drążenia i predykcji parametrów pracy maszyny, odpowiadającym chwilowym warunkom urabiania, pozwala na podniesienie stopnia wykorzystania potencjału technicznego maszyny, ograniczenie zużycia maszyny wynikające z niewłaściwej eksploatacji, zmniejszenie energochłonności procesu urabiania oraz podniesienie poziomu bezpieczeństwa w przodku chodnikowym, co korzystnie wpłynie na efektywność drążenia wyrobisk korytarzowych.

SKD-2M jest systemem bezprzewodowego sterowania i diagnostyki z innowacyjnym rozwiązaniem, umożliwiającym kierunkową nawigację maszyny w osi drążonego wyrobiska korytarzowego. Koncepcja pierwotnej wersji – systemu SKD-2 [2] – opiera się na rozproszonej strukturze wzajemnie połączonych ze sobą bloków funkcjonalnych (modułów), realizujących poszczególne funkcje sterowniczo-diagnostyczne. Zaprojektowany system jest tzw. systemem otwartym, zarówno pod względem sprzętowym jak i programowym.

Duża moc obliczeniowa systemu pozwala na zastosowanie algorytmów przetwarzania danych dla celów sterowania i diagnostyki o dużej złożoności numerycznej.

W celu rozszerzenia możliwości funkcjonalnych systemu SKD-2, nawiązano współpracę z Zakładem Montażu Urządzeń Elektronicznych, który jest producentem „Systemu Monitorowania Głowicy Urabiającej Kombajnu - MINOS-2”. Po wspólnie opracowanej integracji sprzętowej systemu SKD-2 z systemem MINOS-2 powstała najnowsza wersja systemu bezprzewodowego sterowania i diagnostyki SKD-2M, która zapewnia laserowe pozycjonowanie kombajnu względem osi drążonego wyrobiska [3].

2. OPIS FUNKCJONALNOŚCI SYSTEMU

System SKD-2M przeznaczony jest do stosowania w górniczych kombajnach chodnikowych, pracujących w wyrobiskach ze stopniem „a”, „b” i „c” niebezpieczeństwa wybuchu metanu. Do podstawowych funkcji realizowanych przez SKD-2M należy zaliczyć:

- lokalne sterowanie maszyny z poziomu pulpitu operatorskiego PAK-1,
- bezprzewodowe sterowanie maszyny z poziomu Pulpitu Operatorskiego RSO-CH,
- monitoring parametrów pracy poszczególnych podzespołów maszyny poprzez szereg czujników,
- monitoring położenia głowicy urabiającej względem kombajnu lub chodnika,
- monitoring pochylenia wzdłużnego i poprzecznego kombajnu względem poziomu,
- monitoring pozycji kombajnu względem osi drążonego chodnika,
- diagnostykę poszczególnych zespołów kombajnu,
- wizualizację stanu pracy maszyny na wyświetlaczu LCD,
- sygnalizację dochodzenia głowicy urabiającej do granicy przekroju poprzecznego chodnika,
- wykrywanie awarii i informowanie użytkownika o ich wystąpieniu,

- komunikację wewnętrzną poprzez szybki i niezawodny interfejs CAN 2.0 opcjonalnie RS-485 z protokołem Modbus RTU,

- wizualizację stanu pracy kombajnu na powierzchni.

Jak już wspomniano, system SKD-2M posiada konstrukcję systemu rozproszonego. Takie rozwiązanie pozwala w łatwy i ekonomiczny sposób skonfigurować system i zaimplementować go w dowolnym typie kombajnu chodnikowego klasy średniej i lekkiej.

W kabinie operatora, na wyświetlaczu LCD, można wybrać planszę „urabianie” (rys. 1), na której wyświetlany jest wybrany profil wyrobiska i bieżące położenie głowicy urabiającej względem tego profilu. Zbliżanie się głowicy urabiającej do granicy obliczonego obrysu jest sygnalizowane zmianą koloru grafiki przekroju oraz powoduje zatrzymanie ruchu wysięgnika w kierunku mogącym spowodować przekroczenie granicy przekroju, co pozwala na precyzyjne i bezpieczne urabianie. Korzyści płynące z tego systemu to minimalizacja pustek w wyrobisku górniczym, torkretowanie o niemal stałej grubości przy drążeniu tuneli, ale przede wszystkim zdalne sterowanie procesem urabiania [4].



Rys. 1. Plansza z ekranem – URABIANIE

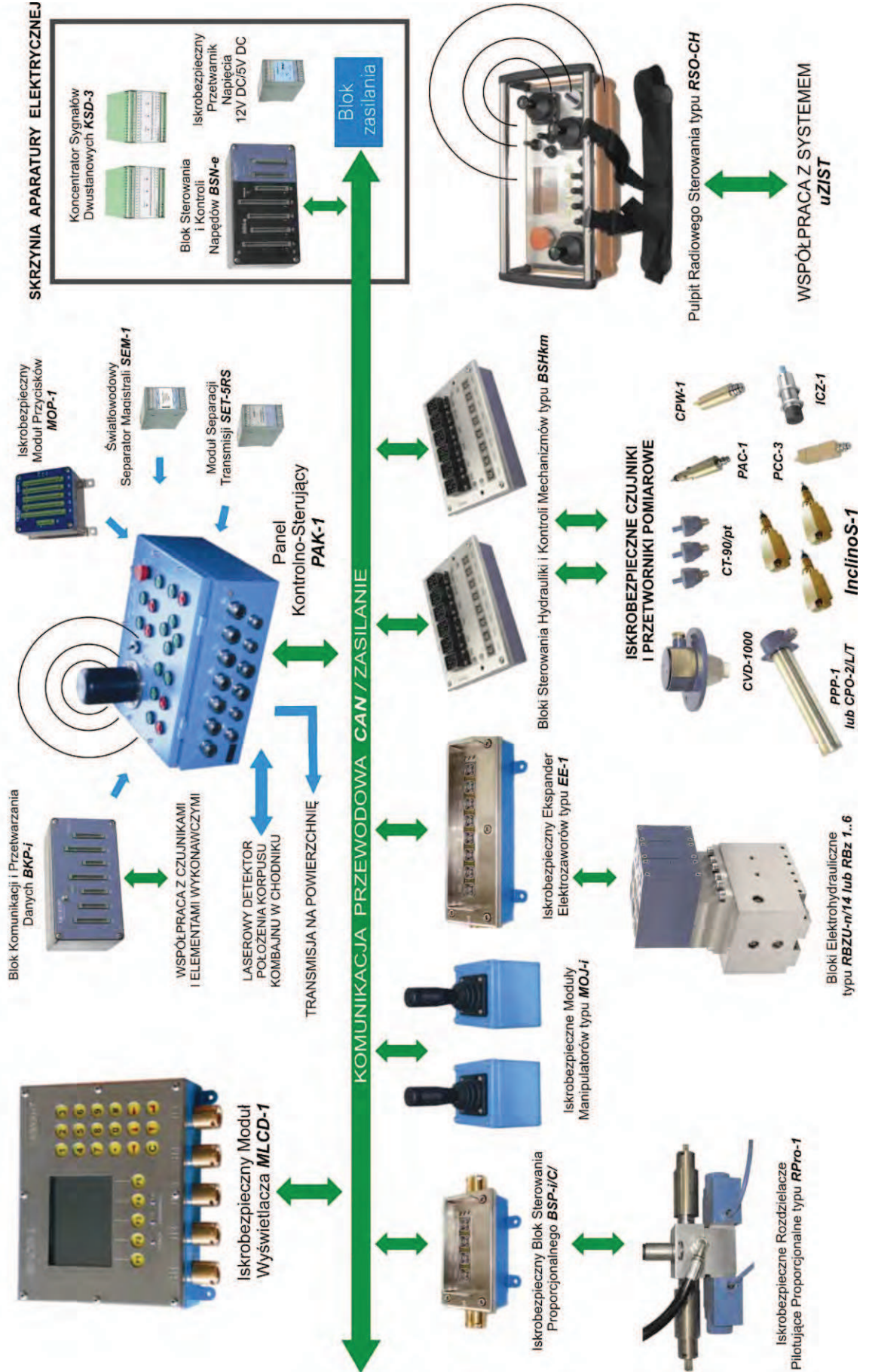
3. BUDOWA I DZIAŁANIE SYSTEMU SKD-2M

Struktura systemu została przedstawiona na rysunku 2. Wśród podstawowych bloków funkcyjnych systemu SKD-2M należy wyróżnić:

- panel kontrolno-sterujący PAK-1 w tym:
 - moduł BKP-i,
 - moduł MOP-1,
- urządzenia operatorskie RSO-CH, RSO-27, MOJ-1, PUS-10,
- urządzenia wizualizacyjne MLCD-1 lub Pop-1,
- urządzenia wykonawcze BSHkm, BSP-i, EE-1,
- urządzenia systemu MINOS-2,
- czujniki i przetworniki pomiarowe.

System SKD-2

EMAG
 INSTYTUT TECHNIK INNOWACYJNYCH EMAG
 40-189 Katowice, ul. Leopolda 31
 tel. 032 2007-700 sekretariat, tel. 032 2007-700 awizo, fax 032 2007-701
 e-mail: emag@emag.pl, www.emag.pl



Rys. 2. Struktura systemu SKD-2

3.1. Panel kontrolno-sterujący PAK-1

Panel kontrolno-sterujący PAK-1 – przedstawiony na rysunku 3 – pełni rolę centralnego sterownika kombajnu chodnikowego, którego głównym zadaniem jest bezpośrednie sterowanie pracą maszyny. Oprogramowanie modułów panelu obsługuje przyciski sterowania: napędem głowicy urabiającej, odpylacza, zraszania, hydrauliki, podajnika oraz sterowania przenośnika i jazdy. Kontroluje indykację magistrali systemowej CAN oraz transmisji bezprzewodowej Bluetooth. Urządzenie sygnalizuje wystąpienie awarii za pomocą sygnału dźwiękowego.



Rys. 3. Panel kontrolno-sterujący PAK-1

W skład panelu wchodzi:

- blok komunikacji i przetwarzania – typu BKP-i,
- iskrobezpieczny moduł przycisków – typu MOP-1,
- przyciski sterownicze,
- przełącznik trybu pracy (lokalny – przewodowy lub zdalny),
- przycisk stopu awaryjnego,
- antena kierunkowa wraz z osłoną.

3.1.1. Blok komunikacji i przetwarzania BKP-i

Blok komunikacji i przetwarzania danych typu BKP-i (rys. 4) jest jednostką centralną przeznaczoną do stosowania w wielomodułowych systemach sterowania i kontroli pracy maszyn.

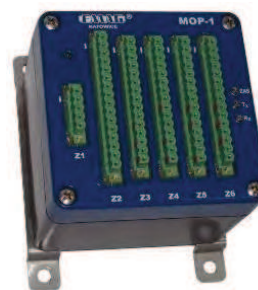
Urządzenie wyposażone zostało w wydajny mikrokontroler, układy pamięci i układy wejścia/wyjścia zapewniające współpracę z innymi urządzeniami wchodzącymi w skład systemu sterowania i diagnostyki kombajnu. Do priorytetowych zadań urządzenia należy sterowanie transmisją danych pomiędzy modułami połączonymi magistralą transmisji szeregową CAN (opcjonalnie RS-485), rejestracja danych o stanie pracy maszyny w lokalnej pamięci, a także zapewnienie komunikacji radiowej.



Rys. 4. Blok komunikacji i przetwarzania danych BKP-i

3.1.2. Moduł przycisków MOP-1

Moduł przycisków typu MOP-1 (rys. 5) umożliwia sterowanie maszyną za pośrednictwem przycisków, klawiatury i przełączników umieszczonych na panelu sterowania danej maszyny. Dodatkowo, pozwala na sterowanie wyjść (lampki kontrolne, diody itp.). Urządzenie przesyła dane o stanie poszczególnych wejść i sygnalizatorów poprzez interfejs komunikacyjny CAN (opcjonalnie RS-485).



Rys. 5. Moduł przycisków MOP-1

3.2. Pulpit radiowego sterowania RSO-CH

Pulpit radiowego sterowania typu RSO-CH – przedstawiony na rysunku 6, przeznaczony jest do radiowego sterowania kombajnem chodnikowym. Urządzenie komunikuje się bezprzewodowo z panelem kontrolno-sterującym PAK-1 w paśmie 2,4 GHz. Pulpit wyposażony jest w manipulatory sterujące jazdą i ruchem wysięgnika, a także 8 przełączników funkcyjnych. Pulpit zaopatrzone w wyświetlacz LCD, którego zadaniem jest wizualizacja parametrów i stanu pracy maszyny, a także wyświetlanie komunikatów informacyjno-alarmowych.



Rys. 6. Pulpit radiowego sterowania typu RSO-CH

3.3. Moduł wyświetlacza MLCD-1

Moduł wizualizacji MLCD-1 (rys. 7) wyposażono w kolorowy wyświetlacz LCD o przekątnej 5,7 cala, który umożliwia wizualizację parametrów pracy kombajnu i jego podzespołów. Za pomocą klawiatury możliwa jest parametryzacja systemu sterowania. Informacja o poszczególnych parametrach przesyłana jest dwukierunkowo poprzez interfejs komunikacyjny CAN.



Rys. 7. Iskrobezpieczny moduł wyświetlacza MLCD-1

3.4. Urządzenia systemu MINOS-2

Integracja sprzętowa systemu sterowania z systemem Monitorowania Głowicy Urabiającej Kombajnu MINOS-2 znacząco rozszerzyła własności funkcjonalne SKD-2M i usprawnia to w istotny sposób wykonanie poprawnego wyłomu w calźnie pod wybraną obudowę, poprzez generowanie informacji o zbliżaniu się głowicy urabiającej do granicy obliczonego przekroju, jak również o odchyleniach od pionu, poziomym i osi wyrobiska.

W skład systemu MINOS-2 wchodzi następujące elementy:

- czujniki:
 - położenia kąтового CK-1 wysięgnika na osi y (pionowej),
 - położenia kąтового CK-1 wysięgnika na osi x (poziomej),
 - niwelacji CN-1,
 - położenia kombajnu CPK-2,
- moduł przetwarzania MP-2.

3.4.1. Czujnik kąta CK-1

Czujnik kąta CK-1 – przedstawiony na rysunku 8 – umożliwia przetwarzanie kąta wychylenia wysięgnika względem kombajnu na wartość cyfrową. Dzięki zastosowaniu dwóch czujników obsługujących oś X

i oś Y możliwe jest prawidłowe prowadzenie głowicy urabiającej kombajnu chodnikowego przy wykonywaniu wyłomu. Czujniki są montowane na obrotnicy kombajnu.



Rys. 8. Czujnik kąta CK-1

Dane z czujników są przetwarzane w module MP-2 i poprzez interfejs komunikacyjny RS-485 przekazywane są do modułu wizualizacji MLCD-1 oraz prezentowane na ekranie wyświetlacza LCD w formie animowanej grafiki głowicy urabiającej kombajnu wykonującej wyłom. W momencie, gdy kombajn zbliży się do granicy obliczonego obrysu, grafika przekroju zmienia kolor z zielonego na żółty, a układ sterowania powoduje blokadę ruchu ramienia wysięgnika w kierunku mogącym spowodować przekroczenie granicy przekroju.

3.4.2. Czujnik niwelacji CN-1

Czujnik niwelacji CN-1 (rys. 9) jako elektroniczny inklinometr określa kąt wychylenia kombajnu od poziomu wyznaczanego przez siłę grawitacji ziemskiej i umożliwia prowadzenie maszyny według zadanej niwelacji. Podobnie jak w przypadku czujnika kąta CK-1, dane są przedstawione w postaci animowanej grafiki na ekranie MLCD-1. Przekroczenie zadanej wartości kąta niwelacji sygnalizowane jest stosownym komunikatem.



Rys. 9. Czujnik niwelacji CN-1

3.4.3. Czujnik położenia kombajnu CPK-2

Czujnik położenia kombajnu CPK-2 – przedstawiony na rysunku 10 – jest najważniejszym elementem systemu. Wspomaga on pracę operatora poprzez wyznaczenie położenia kombajnu względem ociosu.

Czujnik zawiera układy sterowania i napędu oraz dalmierz laserowy zamontowany w obrotowej głowicy. Układ mikroprocesorowy dokładnie określa położenie osi maszyny względem osi prowadzonego wyrobiska, co umożliwia dokładne drążenie chodnika w wyznaczonym kierunku.



Rys. 10. Czujnik położenia kombajnu CPK-2

Zebranie informacji ze wszystkich opisanych czujników systemu MINOS-2 pozwala dokładnie drążyć chodnik wzdłuż jego osi – precyzja odchylenia od osi wyrobiska w przedziale od 0,18÷0,29 m na odcinku 100 m.

Dane z czujnika położenia kombajnu CPK-2, po przetworzeniu w module MP-2, są prezentowane w postaci animowanej grafiki na ekranie MLC-1.

3.4.4. Moduł przetwarzania MP-2

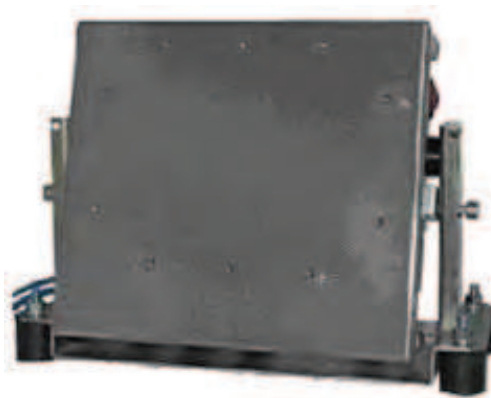
Moduł przetwarzania MP-2 (rys. 11) jest urządzeniem łączącym wszystkie elementy składowe systemu MINOS-2 i zgodnie z algorytmem, mikroprocesor przelicza informacje przekazywane z czujników:

- kąta CK-1 dla osi X i Y,
- niwelacji CN-1,
- położenia kombajnu CPK-2.

Przygotowane w module MP-2 dane, przekazywane są poprzez interfejs komunikacyjny RS-485 z protokołem Modbus RTU do modułu wizualizacji MLC-1 i prezentowane na ekranie wyświetlacza LCD w formie animowanej grafiki na planszach:

- URABIANIE w postaci głowicy urabiającej na tle przekroju drążonego chodnika,
- NIWELACJA w postaci ikony kombajnu ukazanego z boku, wraz z informacjami na temat zadanej i aktualnej niwelacji,

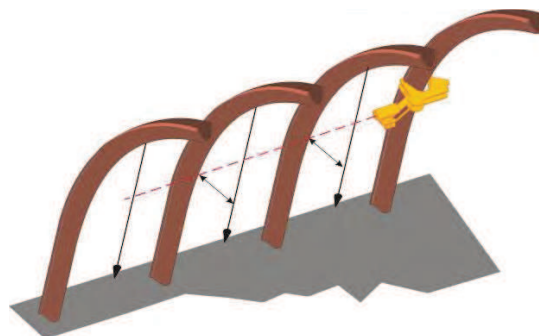
- OŚ WYROBISKA w postaci ikony kombajnu ukazanego z góry, wraz z informacjami na temat położenia osi kombajnu względem osi wyrobiska.



Rys. 11. Moduł przetwarzania MP-2

3.4.5. Wskaźnik laserowy WL-1

Wskaźnik laserowy WL-1 montowany na obudowie chodnikowej, przeznaczony jest do wytyczania kierunku drążonego wyrobiska. Wskaźnik WL-1 (rys. 12) ustawia się za pionami górniczymi – tzw. „godzinami” tak, aby promień lasera znalazł się w tej samej odległości od każdego wiszącego pionu. W ten sposób uzyskuje się prostą równoległą do osi wyrobiska.



Rys. 12. Sposób ustawienia wskaźnika laserowego WL-1

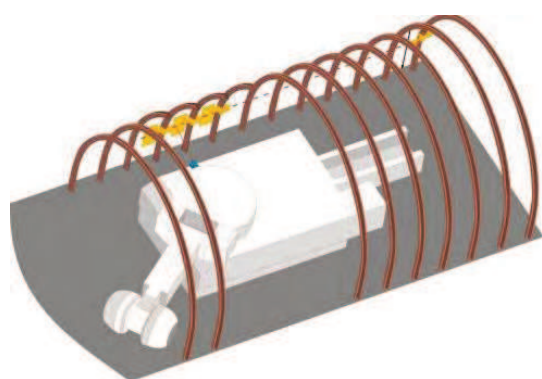
Wskaźnik WL-1 przenoszony jest wraz z postępowaniem przodka. Wiązkę lasera wyzwalają przyciskiem na czas 10 minut. Po tym czasie dioda wskaźnika przechodzi w stan czuwania.

3.4.6. Montaż odbłyśników

Prawidłowe działanie funkcji laserowego prowadzenia kombajnu w osi wyrobiska możliwe jest tylko wtedy, gdy na łukach obudowy zamontowane są 3 płyty pokryte materiałem odbłaskowym (rys. 13), tzw. „odbłyśniki”.



Rys. 13. Widok odbłyśnika



Rys. 14. Sposób mocowania odbłyśników na lukach obudowy

Na rysunku 14 przedstawiono miejsca mocowania następujących elementów:

1. wskaźnika laserowego WL-1,
2. odbłyśników,
3. czujnika położenia kombajnu CPK-2.

Warunki poprawnego ustawienia odbłyśników to:

- montaż po tej samej stronie, na której został zamontowany czujnik CPK-2,
- powierzchnie odbłaskowe odbłyśników w jednej, pionowej płaszczyźnie, równoległej do linii wyznaczonej przez piony górnicze – tzw. „godziny”,
- stała odległość między linią „godzin” a płaszczyzną odbłyśników.

4. PODSUMOWANIE

Przedstawiony system SKD-2M bezprzewodowego sterowania, o rozbudowanej diagnostyce, z innowacyjnym rozwiązaniem umożliwiającym kierunkową nawigację kombajnu chodnikowego w osi wyrobiska zapewnia:

- sterowanie lokalne i bezprzewodowe funkcjami elektrycznymi i hydraulicznymi kombajnu,

- realizację sterowania proporcjonalnego jazdą kombajnu i położenia głowicy urabiającej,
- diagnostykę systemu oraz poszczególnych zespołów kombajnu,
- monitoring położenia głowicy urabiającej względem kombajnu i chodnika,
- monitoring pochylenia wzdłużnego i poprzecznego kombajnu względem poziomu,
- monitoring pozycji kombajnu względem osi drążonego chodnika
- wizualizację procesu urabiania na ekranie graficznym,
- nadzorowanie odczytów z czujników ciśnienia, temperatury, natężenia prądów itd.,
- wczesne informowanie operatora o wszelkich nieprawidłowościach w pracy systemu,
- prawidłowe prowadzenie głowicy urabiającej przy skrawaniu calizny,
- transfer danych do jednostki centralnej na powierzchni.

Zaprojektowany przez Instytut Technik Innowacyjnych EMAG system sterowania i diagnostyki kombajnu chodnikowego z laserowym prowadzeniem maszyny w osi wyrobiska, który umożliwia wycofanie załogi na czas drążenia wyrobiska, w znaczny sposób zwiększa bezpieczeństwo pracy. Jego zdolność do ciągłej kontroli parametrów pracy i ich planowej i zorganizowanej analizie oraz możliwość wspomagania profilowania obrysu wyrobiska, po jego implementacji, może przynieść także inne wymierne korzyści, jak:

- zwiększenie wydajności procesu drążenia wyrobiska korytarzowego,
- zmniejszenie energochłonności procesu urabiania,
- podniesienie stopnia wykorzystania potencjału technicznego maszyny,
- uniemożliwienie przekraczania dopuszczalnych obciążeń napędów, co zwiększy ich żywotność i ograniczy liczbę awarii,
- skrócenie czasu ustawiania odrzwi obudowy drążonego wyrobiska,
- poprawę bezpieczeństwa pracy w przodku.

Literatura

1. *Koział A., Jasiulek D., Stankiewicz K., Bartoszek S.*: Inteligentne systemy mechatroniczne w maszynach górniczych „Napęd i Sterowanie” nr 2/2012.
2. Dokumentacja pracy statutowej Przeprowadzenie badań oraz modernizacja dostosowawcza systemu sterowania, diagnostyki kombajnów chodnikowych SKD-2. Opracowana przez: Halama A., Loska P., Szymała P.: EMAG, Katowice 2011, niepublikowane.
3. *Jagiello A., Nowak P.*: Wpływ wprowadzania nowych rozwiązań technicznych i technologicznych na bezpieczeństwo pracy „Napęd i Sterowanie” nr 7/8/2011.
4. *Korczyński M., Złotos J.*: Układy sterowania i napędowe kombajnów chodnikowych produkowanych przez WAMAG „Napęd i Sterowanie” nr 7/8/2011.

Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów