

inż. ANDRZEJ HALAMA  
mgr inż. JAN JAGŁA  
dr inż. ARTUR KOZŁOWSKI  
dr inż. MAREK KRYCA  
Instytut Technik Innowacyjnych EMAG

# Wybrane elementy układów automatyki przemysłowej stosowanych w trudnych warunkach środowiskowych i strefach zagrożonych wybuchem

*Na wstępie podkreślono znaczenie nowoczesnych rozwiązań zastosowanych w elementach układów automatyki przemysłowej, wykorzystywanych zwłaszcza w środowisku o trudnych i wybuchowych warunkach. W dalszej części artykułu przedstawiono wybrane przykłady rozwiązań opracowanych w ostatnich latach w Instytucie Technik Innowacyjnych EMAG, w tym przykłady systemów sterowania, diagnostyki i układów napędowych, oraz uzasadniono konieczność uwzględnienia w procesie projektowania szeregu wymagań związanych m. in. z dyrektywami LVD, EMC, ATEX i MAD. Ponadto opisano procesy wielowariantowych badań laboratoryjnych, przyczyniające się do zwiększenia poziomu bezpieczeństwa i niezawodności rozwiązań wdrażanych w aplikacjach przemysłowych.*

## 1. WPROWADZENIE

---

Projektowanie i wykonywanie różnego rodzaju urządzeń, układów i systemów dla przemysłu wydobywczego wymaga uwzględnienia określonych wymagań. Jest to spowodowane przede wszystkim potrzebą zapewnienia bezpieczeństwa pracy, ochrony zdrowia pracowników oraz bezpieczeństwa ruchu zakładu górniczego w nietypowym środowisku pracy. Trudne warunki górniczo-geologiczne oraz niebezpieczeństwo wybuchu metanu lub/i pyłu węglowego wymagają zaprojektowania oraz wykonania bezpiecznych i niezawodnych urządzeń, zarówno elektrycznych, elektrohydraulicznych, jak i elektronicznych.

Od ponad 35 lat w Instytucie Technik Innowacyjnych EMAG (dawniej Centrum Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa EMAG) prowadzone są prace konstruktorskie i badawcze w zakresie układów elektrohydraulicznego sterowania maszyn i urządzeń górniczych, a także ciągów technologicznych. W ramach tych prac zaprojektowano i wdrożono szereg konstrukcji iskrobezpiecznych elektrohydraulicznych oraz elektropneumatycznych przystosowa-

nych do eksploatacji w szczególnie trudnych warunkach podziemi kopalń.

Do najistotniejszych powodów doskonalenia opracowanych rozwiązań należą stały rozwój technologiczny oraz coraz większy nacisk kładziony na zwiększanie ich bezpieczeństwa i niezawodności. Z tą myślą przez cały czas prowadzone są prace nad udoskonaleniem stosowanych urządzeń.

## 2. UWZGLĘDNIANIE DYREKTYW PRZY PROJEKTOWANIU ELEMENTÓW AUTOMATYKI PRZEMYSŁOWEJ

---

Dyrektywy stawiają szereg wymagań, które muszą być uwzględnione już na etapie projektowania, by końcowy produkt mógł je spełniać.

Dyrektywa LVD, tj. *Dyrektywa 2006/95/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 12 grudnia 2006 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do sprzętu elektrycznego przewidzianego do stosowania w określonych granicach napięcia* odnosi się do każdego sprzętu przeznaczonego do użytku przy napięciu

z zakresów między 50 a 1000 V prądu przemiennego oraz między 75 a 1500 V prądu stałego (z nielicznymi wyjątkami). Między innymi wymaga ona, by sprzęt elektryczny był zaprojektowany i wyprodukowany w sposób zapewniający jego zgodność z zasadami ochrony przed zagrożeniami:

- stwarzanymi przez sprzęt elektryczny, co oznacza odpowiednią ochronę przed:
  - niebezpieczeństwem urazu fizycznego lub przed inną szkodą mogącą powstać w wyniku bezpośredniego lub pośredniego kontaktu,
  - wytworzeniem temperatury, łuków lub promieniowania, które mogłyby spowodować niebezpieczeństwo,
  - niebezpieczeństwem o charakterze nieelektrycznym, które, jak wynika z doświadczenia, może być spowodowane przez sprzęt elektryczny,
- mogącymi powstać wskutek oddziaływania na sprzęt elektryczny czynników zewnętrznych, co oznacza, że muszą być określone środki techniczne w celu zapewnienia, że sprzęt elektryczny:
  - spełni przewidywane wymagania mechaniczne w taki sposób, że nie będzie występować narażenie na niebezpieczeństwo,
  - będzie odporny na wpływy niemechaniczne w przewidywalnych warunkach otoczenia w taki sposób, aby nie wystąpiło narażenie na niebezpieczeństwo (osób, mienia),
  - nie narazi na niebezpieczeństwo (osób, mienia) w przewidywalnych warunkach przeciążenia.

Dyrektywa EMC, tj. *Dyrektywa 2004/108/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 15 grudnia 2004 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstw Państw Członkowskich odnoszących się do kompatybilności elektromagnetycznej* również stawia szereg wymagań. Rozumiejąc kompatybilność elektromagnetyczną jako zdolność urządzenia do zadowalającego działania w środowisku elektromagnetycznym bez powodowania nadmiernych zaburzeń elektromagnetycznych w stosunku do innych urządzeń działających w tym środowisku, projektowanie musi uwzględniać „środowisko elektromagnetyczne”, oznaczające wszelkie zjawiska elektromagnetyczne możliwe do zaobserwowania w danym miejscu, by:

- zaburzenie elektromagnetyczne, czyli jakiegokolwiek zjawisko elektromagnetyczne, takie jak szum elektromagnetyczny, niepożądany sygnał lub nawet zmiana w samym ośrodku propagacji, nie mogło pogorszyć działania urządzenia,
- urządzenie posiadało zdolność do działania zgodnie z przeznaczeniem bez pogorszenia jakości w przypadku wystąpienia zaburzenia elektromagnetycznego,
- uwzględniało „cele bezpieczeństwa” (cele ochronne życia ludzi lub ochrony własności).

Także dyrektywa ATEX, tj. *Dyrektywa 94/9/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 marca 1994 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstw Państw Członkowskich dotyczących urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem* wymaga, by urządzenia i systemy ochronne przeznaczone do użytkowania w przestrzeniach zagrożonych wybuchem były zaprojektowane pod kątem zintegrowanego bezpieczeństwa przeciwwybuchowego. Oznacza to, że muszą być zaprojektowane i wykonane:

- po odpowiedniej analizie możliwych uszkodzeń podczas użytkowania, aby uniknąć, na ile jest to możliwe, sytuacji niebezpiecznych,
  - z uwzględnieniem szczególnych warunków kontroli i konserwacji,
  - tak, aby działały niezależnie od otaczających, aktualnych lub przewidywanych warunków przestrzennych.
- Z kolei dyrektywa MAD, tj. *Dyrektywa 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn* wymaga stosowania zasad bezpieczeństwa kompleksowego, czyli zaprojektowania i wykonania maszyny w taki sposób, aby:
- nadawała się do realizacji swojej funkcji oraz mogła być obsługiwana, regulowana i konserwowana bez narażenia osób na ryzyko w trakcie wykonywania tych czynności w przewidzianych warunkach,
  - brane było pod uwagę nie tylko zamierzone zastosowanie maszyny, ale także możliwe do przewidzenia niewłaściwe użycie,
  - uwzględniała ograniczenia ruchów operatora w wyniku używania przez niego niezbędnych lub przewidywanych środków ochrony indywidualnej.
- Jak wynika z przywołanych tu wytycznych, podejście projektantów i wykonawców musi być kompleksowe. Poniżej przedstawione zostały wybrane elementy układów automatyki, które w taki właśnie sposób zostały zaprojektowane i wykonane.

### 3. URZĄDZENIA STEROWANIA I DIAGNOSTYKI W UKŁADACH HYDRAULICZNYCH SYSTEMÓW STEROWANIA MASZYN

#### 3.1. Urządzenia sterowania w układach hydraulicznych maszyn górniczych

Pierwszy z wybranych przykładów to blokowy rozdzielacz elektrohydrauliczny RBz 1÷6 (fot. 1), opracowany na podstawie rozdzielacza wykonawczego RH10 (produkowanego przez FUH GEORYT). Rozdzielacze RBz 1÷6 są z powodzeniem stosowane

w systemach sterowania i kontroli MAKS oraz MAKS DBC, które również zostały opracowane w Instytucie EMAG. Systemy te stanowią wyposażenie wielu kombajnów ścianowych produkowanych przez Fabrykę Maszyn Famur S.A., w systemach sterowania i diagnostyki kombajnów chodnikowych SUK-1 i SUK-2, w układzie nadążnego napinania łańcucha przenośników ścianowych NaP oraz w innych układach elektrohydraulicznego sterowania maszyn górniczych. Drugi przykład z tej grupy elemen-

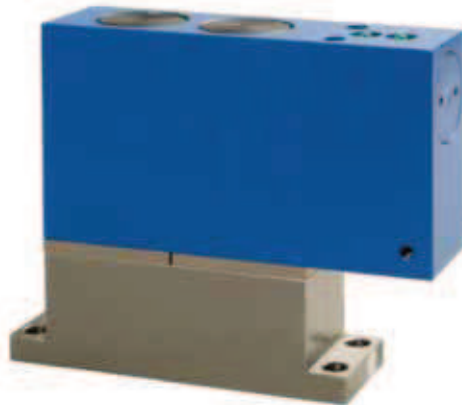


Fot. 1. Rozdzielacz blokowy RBz-1 #6 [1]

Tak niski pobór mocy zespołu sterującego osiągnięto dzięki:

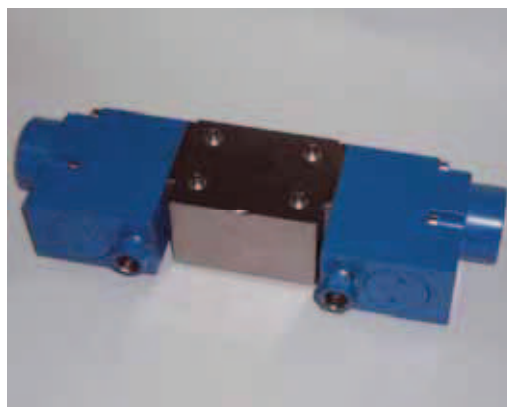
- maksymalizacji siły elektromagnesu poprzez optymalizację obwodu magnetycznego elektromagnesu pod kątem uzyskania jak największej indukcyjności (materiał o bardzo dobrych parametrach magnetycznych, duży przekrój magnetowodu, bardzo mała szczelina powietrzna),
- konstrukcji rozdzielacza pilotującego o bardzo małym skoku roboczym (około 0,1 mm) i niewielkim przekroju zaworów, wymagającego niewielkiej siły przełączenia i pozwalającego na ograniczenie do minimum szczeliny powietrznej elektromagnesu.

tów to zespół sterujący ZES-40 (fot. 2), zbudowany z iskrobezpiecznego elektromagnesu i rozdzielacza pilotującego, którego hydrauliczny sygnał wyjściowy jest wykorzystywany do przełączenia rozdzielacza wykonawczego. Takie rozwiązanie pozwala na sterowanie pracą elementów hydrauliki siłowej działających przy nominalnym ciśnieniu zasilania powyżej 30 MPa i przepływach roboczych przekraczających 150 l/min za pomocą iskrobezpiecznych elektromagnesów o mocy zaledwie 1,2 W (100 mA przy napięciu 12 V).



Fot. 2. Zespół sterujący ZES-40 [1]

Dynamiczny rozwój układów sterowania hydraulicznego charakteryzuje się ostatnio coraz szerszym zastosowaniem elektronicznych układów automatyki. Połączenie klasycznych elementów hydraulicznych z elektronicznymi układami sterowania stanowi podstawę elektrohydraulicznej techniki proporcjonalnej. W wielu wypadkach zastosowanie techniki proporcjonalnej w układach hydraulicznych jest warunkiem precyzyjnej i elastycznej pracy maszyn oraz urządzeń. Dzięki kontrolowanym przełączeniom unika się występowania szczytowych wartości ciśnienia. Skutkuje to większą trwałością elementów mechanicznych i hydraulicznych. Przykładem takiego rozwiązania jest rozdzielacz proporcjonalny RPro-1 (fot. 3).



Fot. 3. Rozdzielacz proporcjonalny RPro-1 [1]

Dla potrzeb sterowania urządzeń zasilanych sprężonym powietrzem opracowano pojedynczy sterownik elektrohydrauliczny SEMI-2/.. (fot. 4), jako integralną część iskrobezpiecznych elektro-pneumatycznych rozdzielaczy o bardzo dużych przepływach medium. W rozdzielaczach tych zastosowano



Fot. 4. Sterownik elektrohydrauliczny SEMI-2/.. [1]

Dla potrzeb kontroli stanu elementów wykonawczych maszyn górniczych w ITI EMAG opracowano urządzenia diagnostyki w układach hydraulicznych



Fot. 6. Dwustanowy czujnik ciśnienia PCC-3 [1]

Również dla kontroli poziomu medium opracowano kilka rozwiązań, m.in. czujnik poziomu oleju CPO-2/L/T (fot. 8), który sygnalizuje obniżenie poziomu medium poniżej określonego minimum, a tak-



Fot. 8. Czujnik poziomu oleju CPO-2/L/T [1]

Kolejne wybrane elementy układów automatyki to czujnik drogi i prędkości CVD-1000 (fot. 10), służą-

suwakowy rozdzielacz pneumatyczny konstrukcji ITI EMAG. Na bazie tego rozdzielacza wykonawczego opracowano rozdzielacze elektropneumatyczne typu REPI-\*/\*-\* (fot. 5), które są powszechnie stosowane do sterowania pracą urządzeń przyszybowych.



Fot. 5. Rozdzielacze elektropneumatyczne typu REPI [1]

systemów sterowania maszyn górniczych. Są to m.in. progowy czujnik ciśnienia PCC-3 (fot. 6) i przetwornik analogowy ciśnienia PAC-1 (fot. 7).



Fot. 7. Analogowy czujnik ciśnienia PAC-1 [1]

że pływakowy przetwornik poziomu PPP-1 (fot. 9), z analogowymi pomiarami poziomu i temperatury medium w zamkniętych zbiornikach zabudowanych w maszynach roboczych.



Fot. 9. Pływakowy przetwornik poziomu PPP-1 [1]

cy do pomiaru prędkości i drogi przebytej przez przemieszczające się maszyny lub urządzenia, oraz



iskrobezpieczny przetwornik zbliżeniowy z wyjściem stykowym typu ICZ-1 (fot. 11), który jest przeznac-



Fot. 10. Czujnik drogi i prędkości CVD-1000 [1]

czony do wykrywania obecności obiektów metalowych w strefie działania przetwornika.

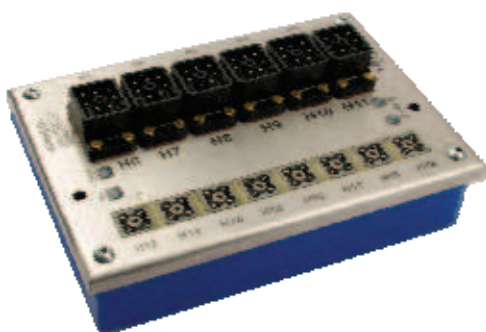


Fot. 11. Iskrobezpieczny przetwornik zbliżeniowy ICZ-1 [1]

### 3.2. Urządzenia elektroniczne przeznaczone dla układów elektrohydraulicznego sterowania maszyn górniczych

W Instytucie EMAG opracowano również kompletną funkcjonalnie rodzinę urządzeń do budowy modułowych systemów sterowania i monitorowania

pracy maszyn górniczych działających w szczególnie trudnych warunkach. W jej skład wchodzi grupa urządzeń przeznaczonych do pracy w układach elektrohydraulicznego sterowania. Pierwszym z nich jest opracowany na potrzeby wspomnianego już wcześniej systemu MAKS-DBC blok sterowania hydrauliki i kontroli mechanizmów (fot. 12).



Fot. 12. Blok sterowania hydrauliki i kontroli mechanizmów BSHkm oraz ekspander elektrozaworów EE-1 [1]

Blok BSHkm jest przeznaczony do sterowania hydrauliką siłową oraz kontrolą parametrów pracy maszyn i urządzeń wykorzystywanych w procesie wydobywczym. Blok ten jest przystosowany do montażu na korpusie maszyny wydobywczej w strefie chronionej przed narażeniami mechanicznymi. Za jego pośrednictwem można sterować pracą pięciu iskrobezpiecznych rozdzielaczy elektrohydraulicz-



nych, ponadto posiada on wejścia pomiarowe umożliwiające akwizycję danych z 12 czujników kontrolujących stan sterowanej maszyny.

Najbardziej uniwersalnym urządzeniem przeznaczonym do pracy w układach elektrohydraulicznego sterowania jest 4-kanałowy programowalny moduł wejścia/wyjścia, noszący nazwę koncentratora lokalnego KLok-1 (fot. 13).



Fot. 13. Koncentrator lokalny KLoc-1 [1]

Każdy z kanałów koncentratora może pracować jako wejście pomiarowe (napięciowe lub prądowe) albo podwójne wyjście do przełączania zaworów rozdzielacza elektrohydraulicznego. Koncentrator może współpracować z czujnikami o wyjściu napięciowym 0÷5 V lub prądowym 0,2÷1 i 4÷20 mA.

Dla potrzeb ręcznego sterowania w modułowych

układach sterowania i monitorowania pracy maszyn przodkowych opracowano pulpit sterujący PUS-10 (fot. 14), spełniający funkcje:

- załączania/wyłączania sterowania zgodnie ze stanem przycisków,
- awaryjnego zatrzymania urządzenia po wciśnięciu przycisku bezpieczeństwa.



Fot. 14. Pulpit sterowania PUS-10 [1]

### 3.3. Bezprzewodowe systemy sterowania kombajnów

W porównaniu z kombajnami ścianowymi tylko niektóre kombajny chodnikowe (klasy lekkiej i średniej), przeznaczone do drążenia wyrobisk korytarzowych, posiadają rozbudowane inteligentne systemy sterowania i diagnostyki. Znaczna ich ilość 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 [2]. Zastosowanie zdalnego sterowania i bezprzewodowych metanomierzy z pomiarem *on-line* oraz zwiększenie stopnia automatyzacji drążenia i predykcji parametrów pracy urządzenia, odpowiadających chwilowym warunkom urabiania, pozwala na podniesienie stopnia wykorzystania potencjału technicznego maszyny, ograniczenie jej zużycia wynikającego z niewłaściwej eksploatacji, zmniejszenie energochłonności procesu urabiania oraz podniesienie po-

ziomu bezpieczeństwa w przodku chodnikowym, co korzystnie wpłynie na efektywność drążenia wyrobisk korytarzowych.

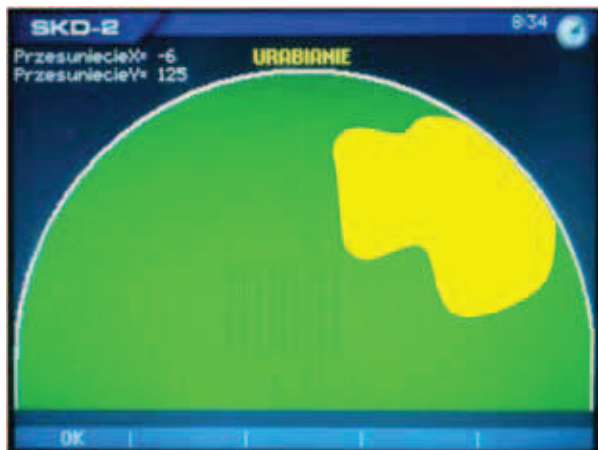
Przykładem opracowanym w ITI EMAG jest systemem bezprzewodowego sterowania i diagnostyki SKD-2M z innowacyjnym rozwiązaniem, umożliwiającym kierunkową nawigację maszyny w osi drążonego wyrobiska korytarzowego. Koncepcja systemu SKD-2 [3] opiera się na rozproszonej strukturze wzajemnie połączonych ze 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.

Do podstawowych funkcji realizowanych przez SKD-2M należą:

- lokalne sterowanie maszyny z poziomu pulpitu operatorskiego PAK-1,

- bezprzewodowe sterowanie maszyny z poziomu pulpitu radiowego sterowania RSO-CH,
- monitoring parametrów pracy poszczególnych zespołów 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,
- diagnostyka poszczególnych zespołów kombajnu,
- wizualizację stanu pracy maszyny na wyświetlaczu LCD,
- sygnalizacja dochodzenia głowicy urabiającej do granicy przekroju poprzecznego chodnika,
- wykrywanie awarii i informowanie użytkownika o ich wystąpieniu,
- komunikacja wewnętrzna poprzez szybki i niezawodny interfejs CAN 2.0, opcjonalnie RS-485, z protokołem Modbus RTU,
- wizualizacja stanu pracy kombajnu na powierzchni.

Przyjęta w SKD-2M konstrukcja systemu rozproszonego umożliwia skonfigurowanie systemu w łatwy i ekonomiczny sposób oraz zaimplementowanie go w dowolnym typie kombajnu chodnikowego klasy średniej i lekkiej. W kabinie operatora, na wyświetlaczu LCD, można wybrać planszę „urabianie” (fot. 15), na której wyświetlany jest wybrany profil wyrobiska oraz bieżące położenie głowicy urabiającej względem tego profilu z dodanym śladem urobionej calizny. 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 górnym, torkretowanie o niemal stałej grubości przy drążeniu tuneli, ale przede wszystkim – zdalne sterowanie procesem urabiania.



Fot. 15. Zrzut ekranu z planszą „urabianie” [1]

Podstawowym blokiem funkcyjnym systemu SKD-2M jest panel kontrolno-sterujący PAK-1 (fot. 16).



Fot. 16. Panel kontrolno-sterujący PAK-1 [1]

Pełni on 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.

Kolejne wybrane przykłady elementów systemu związane są również ze sterowaniem. Pulpit radiowego sterowania typu RSO-CH (fot. 17) jest przeznaczony do radiowego sterowania kombajnem chodnikowym.



Fot. 17. Pulpit radiowego sterowania typu RSO-CH [1]

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, 8 przełączników funkcyjnych, a także w wyświetlacz LCD, którego zadaniem jest



wizualizacja parametrów i stanu pracy maszyny oraz wyświetlanie komunikatów informacyjno-alarmowych.

Z kolei moduł wizualizacji MLCD-1 (fot. 18) 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.



Fot. 18. Iskrobezpieczny moduł wyświetlacza MLCD-1 [1]

Dla wykonania poprawnego wylomu w calźnie pod wybraną obudowę dokonano integracji sprzętowej systemu sterowania z systemem monitorowania głowicy urabiającej kombajnu MINOS-2. Znacząco rozszerzyło to własności funkcjonalne SKD-2M i je usprawniło poprzez generowanie informacji o zbliżaniu się głowicy urabiającej do granicy obliczonego przekroju, jak również o odchyleniach od pionu, poziomu i osi wyrobiska. W skład systemu MINOS-2 wchodzi m.in. czujniki położenia kąтового CK-1 wysięgnika na osiach y (pionowej) i x (poziomej), niwelacji CN-1, położenia kombajnu CPK-2, a ponadto moduł przetwarzania MP-2 oraz inne czujniki i przetworniki pomiarowe.

#### 4. UKŁADY ENERGOELEKTRONICZNE STEROWANIA MASZYN I NAPĘDÓW

Stosunkowo szeroki zakres zagadnień, którymi zajmuje się Instytut EMAG, obejmuje także obszar zasilania. Dotyczy to grupy napędów elektrycznych maszyn przepływowych – wentylatorów, pomp, sprężarek – o mocach powyżej kilkuset kW, na napięcie 6 kV. Bardzo często, ze względów technologicznych, pożądana jest regulacja parametrów tych maszyn. Najczęściej stosowanymi sposobami zmiany parametrów wentylatorów, pomp i sprężarek jest dławienie na zasuwach, wydmuch (sprężarki) czy zmiana ustawienia aparatu kierowniczego (wentylatory).

Wszystkie te sposoby są związane ze znacznymi stratami energii, a często są również niekorzystne ze względu na sam proces technologiczny. Najkorzystniejszym sposobem regulacji wydajności maszyn przepływowych jest regulacja przez zmianę prędkości obrotowej. Umożliwia ona elastyczne i płynne dopasowanie depresji wentylatora do potrzeb wentylacji czy wydajności pompy względnie sprężarki do aktualnego zapotrzebowania, a jednocześnie pozwala na uzyskanie wysokiej sprawności napędzanej maszyny, zapewniając w ten sposób znaczne zmniejszenie zużycia energii elektrycznej.

Zastosowanie do sterowania ww. układów napędowych sterowników mikroprocesorowych umożliwiło osiągnięcie dużej niezawodności układów napędowych i rozszerzenie możliwości sterowania.

Instytut EMAG wykonuje modernizacje istniejących układów napędowych, które w zależności od specyfiki tych układów obejmują:

- wykonanie przekształtników do regulacji prędkości obrotowej napędów z silnikami asynchronicznymi pierścieniowymi w układzie kaskad tyrystorowych, włączanych w obwód wirnika silnika i posiadających każdorazowo parametry zależne od parametrów tych wirników,
- realizację układów regulacji prędkości obrotowej napędów dużej mocy z silnikami asynchronicznymi klatkowymi, z przemiennikami częstotliwości niskiego (690 V) i średniego napięcia (6 kV),
- wykonywanie i badanie przekształtników dla napędów prądu stałego (głównie maszyn wyciągowych z silnikami prądu stałego).

##### 4.1. Kaskadowe układy napędowe

Zakres realizowanych modernizacji napędów zależy od rodzaju silnika zastosowanego w napędzie. W przypadku modernizacji napędów z silnikami synchronicznymi obejmuje ona przeróbkę silników synchronicznych na silniki indukcyjne pierścieniowe oraz zabudowanie przekształtnika tyrystorowego tworzącego z silnikami kaskadę podsynchroniczną. W przypadku kopalnianych stacji wentylatorów głównego przewietrzania możliwe jest rozwiązanie (oszczędnościowe) z jednym wspólnym przekształtnikiem tyrystorowym dla dwóch napędów, umożliwiającym ich przemienną pracę z regulowaną prędkością obrotową.

Przeróbka silnika z synchronicznego na indukcyjny z wirnikiem pierścieniowym polega na zastąpieniu wirnika silnika synchronicznego wirnikiem uzwojonym, asynchronicznym.

Modernizacja napędu obejmuje również układ sterowania całego napędu (włącznie z układem rozru-



chowym). Układ ten, wyposażony w sterowniki mikroprocesorowe, realizuje m. in. następujące funkcje:

- sterowanie załączeniem i wyłączeniem napędu,
- pracę w układzie kaskady lub ze zwartym wirnikiem (w układzie obejściowym),
- kontrolę stanu urządzeń pomocniczych układu przekształtnikowego i całego napędu przed załączeniem do pracy oraz blokowanie załączenia,
- kontrolę sprawności poszczególnych podzespołów podczas pracy i wyłączenie w razie ich niesprawności.

Sterowanie napędem odbywa się przy pomocy pulpitu operatorskiego umieszczonego w zespole sterowania, w którym ponadto znajdują się pozostałe elementy sterowania, sygnalizacji i kontroli.

Zastosowanie w układzie sterowania sterowników mikroprocesorowych stwarza duże możliwości w zakresie monitorowania zarówno gotowości napędu do pracy, jak i samej pracy. W wyniku przygotowania napędu do pracy na pulpicie sterownika wyświetlany jest komunikat o gotowości do załączenia, a w przypadku braku gotowości wyświetlany komunikat informuje o brakujących sygnałach oraz specyfikuje te sygnały w postaci przewijanej listy. Zadziałanie zabezpieczeń powodujących awaryjne wyłączenie napędu powoduje wyświetlenie komunikatu informującego o przyczynach wyłączenia. Informacja ta przechowywana jest w „Historii awarii” i może być wyświetlona na żądanie w dowolnym momencie.

Z dużych napędów zmodernizowanych w wyżej opisanym zakresie wymienić można chociażby napę-

dy wentylatorów głównego przewietrzania o mocy 2500 kW w KWK „Budryk”. W ostatnim okresie w jednej z kopalń wykonano również modernizację napędu sprężarki (fot. 19, 20) w celu umożliwienia regulacji jej wydajności przez zmianę prędkości obrotowej z  $Q \cong 16000 \text{ m}^3/\text{h}$  do około  $8000 \div 10000 \text{ m}^3/\text{h}$ . Do regulacji prędkości obrotowej silnika sprężarki o mocy 1800 kW, na napięciu 6 kV, zastosowano układ kaskady tyrystorowej.



Fot. 19. Napęd sprężarki sprężarki TK-16 w KWK „Borynia” [4]



Fot. 20. Układ sterowania sprężarki TK-16 w KWK „Borynia” [4]

#### 4.2. Układy regulacji wydajności wentylatorów z przemiennikami częstotliwości

Innym sposobem poprawy sprawności systemu wentylacyjnego jest zastosowanie przemienników częstotliwości do regulacji prędkości obrotowej wentylatorów

głównego przewietrzania. Zrealizowany w KWK „Staszic” układ z przemiennikami częstotliwości zasilającymi silniki indukcyjne klatkowe o mocy 500 kW na napięciu 690 V, o prędkości obrotowej 369 obr./min, umożliwia zmianę prędkości napędu w szerokim, praktycznie nie w pełni wykorzystywanym w przypadku

wentylatorów zakresie. Jest to wysokosprawny, energooszczędny układ napędowy (fot. 21), zastępujący tradycyjne sposoby regulacji wydajności wentylatora.

W celu zwiększenia niezawodności pracy wymaganej dla wentylatorów głównego przewietrzania przewidziano układ obejściowy, umożliwiający zasilanie silnika bezpośrednio z transformatora przekształtnikowego, z pominięciem przemiennika częstotliwości, bez regulacji prędkości obrotowej.

Modernizacja całych stacji wentylatorów głównego przewietrzania związana z modernizacją napędów wentylatorów pozwala na objęcie ich systemem monitoringu i wizualizacji oraz zapewnienie kontroli parametrów powietrza. Jest to dodatkowy czynnik podniesienia bezpieczeństwa ludzi wykonujących pracę w warunkach szczególnego zagrożenia środowiska zakładu górniczego.



Fot. 21. Napęd wentylatora z przemiennikiem częstotliwości w KWK „Staszic” [4]

#### 4.3. Układy regulacji prędkości i sterowania napędów prądu stałego

Jednym z najważniejszych obiektów w kopalniach głębinowych węgla kamiennego jest maszyna wyciągowa, służąca do transportu szybowego. Podstawowym zadaniem technologicznym tego transportu w kopalniach jest podnoszenie urobku, opuszczanie i podnoszenie materiałów, maszyn i urządzeń oraz transport ludzi. Ze względu na odpowiedzialność realizowanych przez maszyny wyciągowe zadań stawia się im wysokie wymagania pod względem niezawodności oraz bezpieczeństwa pracy.

W ostatnich latach w Instytucie EMAG opracowano przekształtnik tyrystorowy o prądzie znamionowym 4000 A i maksymalnym napięciu wyprostowanym 750 V, z możliwością łączenia równoległego. Użycie układów mikroprocesorowych w układzie sterowania i regulacji umożliwiło uzyskanie wysokiej dynamiki i płynności ruchu napędu przekształtnikowego maszyny wyciągowej oraz zapewniło możliwo-

ści wizualizacji pracy i monitorowania stanów awaryjnych, co zdecydowanie poprawiło i usprawniło obsługę maszyny.

Przekształtnik tyrystorowy typu TR-4 jest przeznaczony do zasilania układów napędowych dużych mocy, w tym maszyn wyciągowych w górnictwie. Jak wspomniano, przystosowany jest on do pracy równoległej.

Przekształtnik główny sterowany jest przez sterowniki mikroprocesorowe, umieszczone w oddzielnej szafie, które oprócz sterowania tyrystorów realizują także funkcje regulatorów prądu i prędkości oraz funkcje zabezpieczeń przekształtnika.

Do wykonywania funkcji regulacyjnych został zastosowany sterownik mikroprocesorowy produkcji EMAG. Sterownik realizuje między innymi funkcje:

- regulatora prądu typu PI,
  - regulatora prędkości typu P lub PI,
  - kontroli szybkości zmian prędkości zadanej,
  - kontroli pracy przekształtnika (zabezpieczenie śledzące prąd),
  - kontroli prawidłowego działania sterownika,
  - zadawania prędkości po ustalonej rampie,
  - sterowania przekształtnika wzbudzenia (podczas rewersji).
- Drugi sterownik realizuje funkcje zabezpieczeń, m. in.:
- kontroli stanu czujników temperatury oraz mikrołączników bezpieczników,
  - kontroli prądów w poszczególnych mostkach tyrystorowych z uwzględnieniem prądu maksymalnego, równomierności rozplywu prądów oraz równomierności obciążenia faz,
  - wizualizacji stanów awaryjnych przekształtnika na pulpicie operatorskim.

Wystąpienie któregośkolwiek ze stanów awaryjnych jest sygnalizowane na pulpicie operatorskim za pomocą odpowiedniego komunikatu.

Wykonano również przekształtniki i uruchomiono przekształtnikowy napęd prądu stałego o mocy 2250 kW na napięciu 650 V do wyważarki wirników turbogeneratorów (fot. 22) dla Alstom Power we Wrocławiu. Jest to napęd, od którego wymagana jest duża precyzja regulacji prędkości obrotowej, charakteryzujący się bardzo dużym zakresem zmian momentu bezwładności napędzanej maszyny.



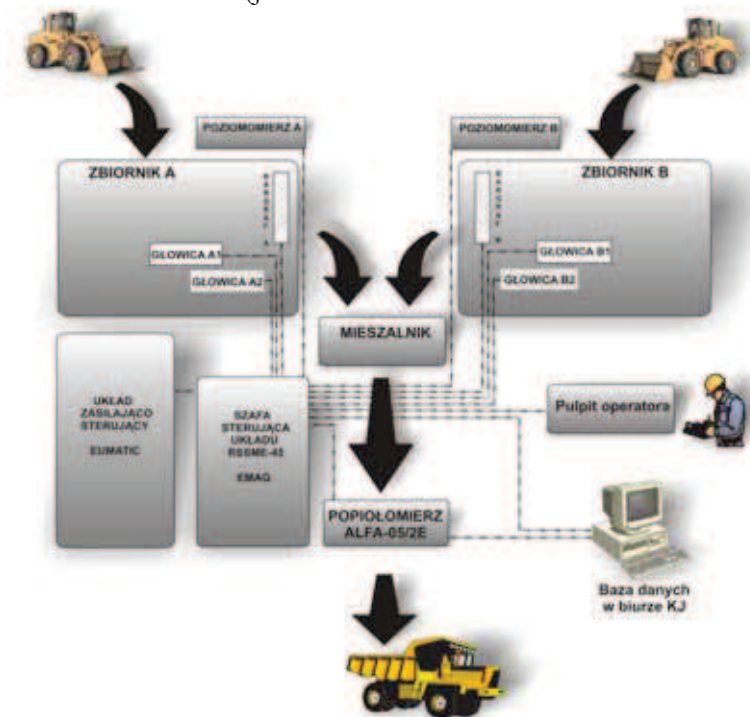
Fot. 22. Wyważarka wirników turbogeneratorów – Alstom Power [4]

W Instytucie EMAG opracowano również kompleksowy układ energoelektronicznego sterowania dla lokomotyw przewodowych LGT-22 produkcji ASEA, eksploatowanych w KWK „Staszic” w systemie transportu urobku. Nowoczesny układ zasilania i sterowania lokomotyw trakcyjnych LGT-22 charakteryzuje się niezależnym sterowaniem dwoma silnikami napędowymi z możliwością wykrywania poślizgu kół napędowych. Ponadto układ sterowania pozwala na jazdę dwóch lokomotyw w układzie tandem oraz zdalne sterowanie (jazda bez

maszynisty) w momencie załadunku oraz rozładunku urobku.

## 5. SYSTEMY W PROCESIE WZBOGACANIA WĘGLA

Innego rodzaju przykładem elementów układu automatyki, pracującym w nieco łżejszych warunkach, jest system tworzenia mieszanek energetycznych RSSME-45, przeznaczonych do załadunku na samochód. Strukturę systemu przedstawiono na rys. 1. Każdy z przedstawionych tu zbiorników na składniki mieszanki jest wyposażony w dwie głowice pomiarowe umiejscowione w przewidzianych do ich instalacji gniazdach. Na szczycie zbiorników zainstalowano ultradźwiękowe czujniki poziomu, pozwalające na ocenę stopnia zapełnienia oraz detekcję zbyt małej warstwy materiału uniemożliwiającej poprawne działanie głowic pomiarowych. Czujniki poziomu podłączone są do dwukanałowego miernika firmy NIVELCO, zabudowanego w szafie sterowniczej opracowanej przez EMAG. Jakość uzyskiwanego produktu jest kontrolowana popiołomierzem ALFA-05 – również opracowanym w EMAG.



Rys. 1. Konfiguracja systemu tworzenia mieszanek RSSME-45 [5]

Podstawowym zadaniem systemu jest wypracowanie sygnałów sterujących, umożliwiających otrzymanie zadanych parametrów jakościowych mieszanki

z substratów znajdujących się w zbiornikach. Sygnały sterujące są generowane na podstawie następujących wielkości wejściowych:

- odczyt poziomu naturalnego promieniowania gamma rejestrowanego przez głowice A1, A2, B1 i B2,
- obliczanie na podstawie natężenia promieniowania naturalnego zawartości popiołu w zbiornikach A i B,
- kontrola warunków pomiarowych (poziomy materiał w zbiornikach, ruch taśmy odbiorczej, stan pracy mieszalnika i falowników, wskazania popiołu w produkcie),
- sterowanie ruchem taśmociągów podających składniki mieszanki,
- komunikacja z systemem komputerowym (wizualizacja i archiwizacja), pulpitem operatora, głowicami pomiarowymi, wskaźnikami poziomu i popiologierem zainstalowanym na taśmie odbiorczej.

## 6. PODSUMOWANIE

---

Liczne urządzenia z zakresu zasilania, układy sterowania, układy napędowe oraz systemy nadzoru, opracowane w Instytucie EMAG, mają znaczący wpływ na bezpieczeństwo eksploatacji urządzeń elektrycznych przede wszystkim w polskim górnictwie, ale również w innych gałęziach przemysłu. Bezpieczeństwo jest jednym z głównych aspektów uwzględnianych w trakcie opracowywania w Instytucie EMAG urządzeń i układów automatyki.

Urządzenia pracujące w układach hydraulicznych, pneumatycznych i energoelektronicznych maszyn górniczych są przystosowane do pracy w ekstremalnie trudnych warunkach, jakie panują w podziemnych wyrobiskach górniczych – mają dużą odporność na wilgotność powietrza, oddziaływanie słonej wody, zapylenie i silne udary mechaniczne, charakterystyczne dla środowiska górniczego.

Wszystkie urządzenia sterowania i kontroli spełniają wymagania obowiązujących norm i są dopuszczone do stosowania w przestrzeniach zagrożonych wybuchem.

*Powyższy artykuł opracowano na podstawie dokumentacji technicznej oraz dokumentacji prac badawczych przygotowanych i zrealizowanych w Instytucie Technik Innowacyjnych EMAG.*

### Literatura

1. Dokumentacje techniczne i karty katalogowe urządzeń opracowanych i wytworzonych w Instytucie EMAG (fot. 1-18).
2. Koziół A., Jasiulek D., Stankiewicz K., Bartoszek S.: *Inteligentne systemy mechatroniczne w maszynach górniczych*. „Napędy i sterowanie”, nr 2, 2012.
3. Halama A., Loska P., Szymała P.: *Przeprowadzenie badań oraz modernizacja dostosowawcza systemu sterowania, diagnostyki kombajnów chodnikowych SKD-2*, EMAG 2011.
4. Dokumentacje techniczne układów sterowania napędów elektrycznych (fot. 19-22).
5. Dokumentacja techniczna systemu tworzenia mieszanek RSSME-45.