

Inteligentne systemy mechatroniczne w maszynach górniczych

Antoni Kozieł, Dariusz Jasiulek, Krzysztof Stankiewicz, Sławomir Bartoszek

1. Wprowadzenie

Bezpieczeństwo energetyczne Polski, zwłaszcza w aspekcie wzrastającej konsumpcji energii, wymaga ciągłego pozyskiwania i produkcji surowców do jej wytwarzania. Podstawowym źródłem wytwarzania energii w kraju jest węgiel. Wydobywanie tego surowca energetycznego, zwłaszcza węgla kamiennego, jest jednak coraz trudniejsze, z uwagi na zwiększającą się głębokość eksploatacji i występowanie coraz trudniejszych warunków górniczo-geologicznych. Następuje wzrost zagrożeń górniczych przekładających się na bezpieczeństwo i środowisko pracy w kopalniach. Zagrożenia te związane są z zapaleniem i wybuchem metanu, pożarami endogenicznymi, tąpnięciami, zawałami oraz wyrzutami skał czy wdarciami się wody.

Wydobywanie węgla wymaga zatem stosowania coraz bezpieczniejszych technologii eksploatacji, w tym wdrażania systemów mechanizacyjnych ograniczających ryzyko oraz skutki wystąpienia niepożądanych zdarzeń.

W latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku próbowano wprowadzić automatyzację do polskich kopalń węgla kamiennego. W kopalni doświadczalnej JAN próbowano uruchomić zautomatyzowaną ścianę wydobywczą z użyciem cyfrowej maszyny sterującej MASTER 301 [1].

Z uwagi na trudne warunki górnicze oraz niedoskonałość ówczesnych rozwiązań technicznych próba ta nie zakończyła się sukcesem.

Rozwój szeregu dziedzin przemysłu: maszynowego, elektro-mechanicznego, chemicznego, jak również możliwość zastosowania nowych materiałów oraz postęp w dziedzinie komputeryzacji i informatyki umożliwiają coraz szersze wdrażanie inteligentnych systemów maszyn górniczych.

Inteligencja maszyn czy systemów maszynowych definiowana jest jako zdolność adaptacji do nowych warunków i wykonywania nowych zadań (Stern), jako zdolność do rozwiązywania problemów (Piaget) lub jako zdolność uczenia się (Ferguson).

Inteligentne maszyny to takie, w których najważniejsze dane zbiera się i analizuje w sposób planowy i zorganizowany, i które służą poprawie bezpieczeństwa i racjonalizacji kosztów ich funkcjonowania.

Odpowiednie gromadzenie i przetwarzanie ogromnej liczby informacji pozwala na błyskawiczny dostęp do wiarygodnych danych, pozwalających na podejmowanie trafniejszych decyzji.

Inteligentna maszyna nie jest zbiorem gotowych rozwiązań, po wprowadzeniu których zarządzanie nią staje się łatwiejsze. To idea, która powinna mobilizować do opracowywania rozwiązań dążących do doskonałości, przy nieustannie zmieniających się i bardzo złożonych mechanizmach. Wdrażanie idei inteligentnych maszyn jest procesem ciągłym, w którym nieustannie trzeba odpowiadać na nowe wyzwania. Istotne jest zatem stosowanie przemyślanych rozwiązań i dostosowywanie ich do ciągle zmieniających się czynników wewnętrznych i zewnętrznych.

Streszczenie: Inteligentne, rozumiane jako zdolne do adaptacji i uczenia się, systemy sterowania i automatyzacji zdobywają coraz szersze grono odbiorców. Wzrasta także obszar implementacji systemów inteligentnych w polskim górnictwie węgla kamiennego, szczególnie ze względu na konieczność ciągłego podnoszenia bezpieczeństwa pracy załóg oraz potrzebę zwiększenia efektywności wydobywania. W opracowaniu przedstawiono wybrane prace realizowane w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG w zakresie nowoczesnych, inteligentnych systemów mechatronicznych, które podnoszą poziom bezpieczeństwa w górnictwie oraz obniżają energochłonność procesu technologicznego produkcji węgla. Omawiane prace obejmują swoim zakresem systemy automatyki, monitoringu i wizualizacji, techniki sztucznej inteligencji oraz systemy ewidencji, doskonale wpisujące się we współczesne kierunki rozwoju górniczych systemów mechanizacyjnych, opisane m.in. w projekcie *foresight* pt. „Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego”.

INTELLIGENT MECHATRONIC SYSTEMS IN MINING MACHINES

Abstract: *Intelligent control and automation systems, i.e. the systems capable for adaptation and learning, gain wider group of users. The area of implementation of intelligent systems in the Polish hard coal mining industry also extends, especially due to the necessity of continuous increase of work safety and due to the need of increasing of production effectiveness.*

Selected projects realized at the KOMAG Institute of Mining Technology as regards state-of-the-art, intelligent mechatronic systems, which increase the safety in the mining industry and which reduce energy consumption of technological process of coal production, are presented in the paper. Discussed projects include automatics, monitoring and visualization, technologies of artificial intelligence and systems of recording, which perfectly fit to present directions of development of mining mechanization systems described, among others, in the foresight project entitled “Scenarios of technological development of the hard coal mining industry”.

Mówiąc o sztucznej inteligencji, czyli zdolności maszyn do naśladowania inteligentnego zachowania człowieka, należy sprecyzować jej kryteria, takie jak:

- autonomia, czyli wykonywanie zadań bez pomocy człowieka, na podstawie informacji uzyskanych z czujników i przetworników;

- interfejs „człowiek – maszyna”, definiujący sposób przekazywania informacji i wydawania poleceń przyjaznych dla ludzi;
- zdolność do adaptacji, czyli dostosowanie do zmian środowiska pracy człowieka.

Wymóg autonomicznego działania systemu mechanizacyjnego w kopalni, z uwagi na zachowanie bezpieczeństwa i ewentualną potrzebę wycofania ludzi ze strefy zagrożenia, jak również postępująca automatyzacja procesów produkcyjnych będą stanowiły podstawę tworzenia kopalni przyszłości. Jej podstawowymi cechami będą: wysoki wskaźnik produktywności, wyższy poziom bezpieczeństwa, energooszczędność i ochrona środowiska.

2. Kierunki rozwoju inteligentnych systemów maszynowych dla górnictwa

Inwestycje w górnictwie uzależnione są od czynników ekonomicznych, udokumentowanych zasobów surowca, jak również stanu zaawansowania technologii i ich poziomu bezpieczeństwa. Główne trendy w zakresie technologii górniczych, charakterystyczne dla krajowego i światowego górnictwa, to:

- zwiększenie efektywności procesu wydobywania węgla, przy jednoczesnym wzroście poziomu bezpieczeństwa;
- konieczność eksploatacji w coraz trudniejszych warunkach górniczo-geologicznych, w tym w cienkich pokładach;
- automatyzacja procesów wydobywczych.

Efektywność procesu wydobywania jest ciągle zwiększana poprzez wykorzystanie innowacyjnych systemów maszynowych, o bardzo dużej zainstalowanej mocy, jak również przez ograniczenie liczby awarii i zmniejszenie skutków zagrożeń powodujących wypadki w kopalniach.

Eksploatacja w coraz trudniejszych warunkach górniczo-geologicznych wymaga stosowania specjalistycznych maszyn, o zwiększonej trwałości, niezawodności, przy niejednokrotnie mniejszych gabarytach, jak np.: w przypadku eksploatacji cienkich pokładów.

Technologie stosowane w górnictwie coraz częściej wiążą się z informatyzacją procesu wydobywania, poprzez nadzór pracy maszyn ze stanowiska dyspozytora, zlokalizowanego na powierzchni kopalni. Umożliwia ona wcześniejsze wykrywanie zagrożeń, zmniejszenie liczby awarii maszyn i urządzeń oraz ogranicza przebywanie załóg górniczych w szczególnie niebezpiecznych miejscach.

Automatyzacja procesów wydobywczych umożliwia zastąpienie niebezpiecznej lub czasami niemożliwej dla ludzi pracy, ze względu na warunki środowiskowe, przez nadzorowane zespoły maszyn i urządzeń. Wprowadzenie automatyzacji wymaga jednak integracji poszczególnych systemów sterowania maszyn i urządzeń. Powyższe trendy potwierdzają prace analityczne oraz scenariusze rozwoju systemów mechanizacyjnych dla górnictwa. Przykładem są wyniki ankiety przeprowadzonej w 2009 r. wśród członków SME (*Research Council of the Society for Mining Metallurgy and Exploration*) w zakresie identyfikacji priorytetów technologicznych dla górnictwa [2]. Do najważniejszych kierunków rozwoju zaliczono:

- zwiększenie efektywności i bezpieczeństwa systemów maszynowych, szersze zastosowanie sztucznej inteligencji oraz technologii wirtualnej rzeczywistości;
- rozwój nowych technologii dla górnictwa podziemnego, w szczególności dla eksploatacji zasobów zalegających w cienkich pokładach;

- monitoring środowiska górniczego w czasie rzeczywistym, w tym jakości powietrza, w celu zwiększenia bezpieczeństwa pracy;
- rozwój geochemicznych/geofizycznych metod dla wykrywania i szacowania zasobów surowców.

Wyszczególnione kierunki prac badawczych są zbieżne z trendami rozwoju technologicznego dla produkcji węgla kamiennego, sformułowanymi w ramach projektu *foresight* pt. „Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego”, zrealizowanego w ramach sektorowego programu operacyjnego „Wzrost konkurencyjności przedsiębiorstw”, koordynowanego przez Główny Instytut Górnictwa [3].

W scenariuszach rozwoju systemów maszynowych wyznaczono następujące kierunki prac badawczych:

Ścianowe systemy mechanizacyjne [4, 5]

- opracowanie zintegrowanych układów sterowania oraz zaawansowanych układów diagnostyki dla systemów mechanizacyjnych;
- monitorowanie stanu zagrożeń w celu poprawy bezpieczeństwa pracy;
- dostosowanie układów zasilania elektroenergetycznego do coraz większych mocy maszyn systemu ścianowego.

Drażenie wyrobisk korytarzowych [5, 6]

- opracowanie układów do zdalnego sterowania pracą maszyn wchodzących w skład autonomicznych kompleksów chodnikowych, pozwalających na sterowanie z bezpiecznej strefy poza przodkiem.

Systemy transportowe w podziemiach kopalń [5, 7]

- opracowanie hybrydowych spalinowo-elektrycznych napędów maszyn transportowych;
- opracowanie elektrycznych napędów z nową generacją akumulatorów i silników elektrycznych;
- automatyzacja transportu w podziemiach kopalń;
- zastosowanie mikroprocesorowych układów sterowania i diagnostyki środków transportu.

Infrastruktura systemowa [5, 8]

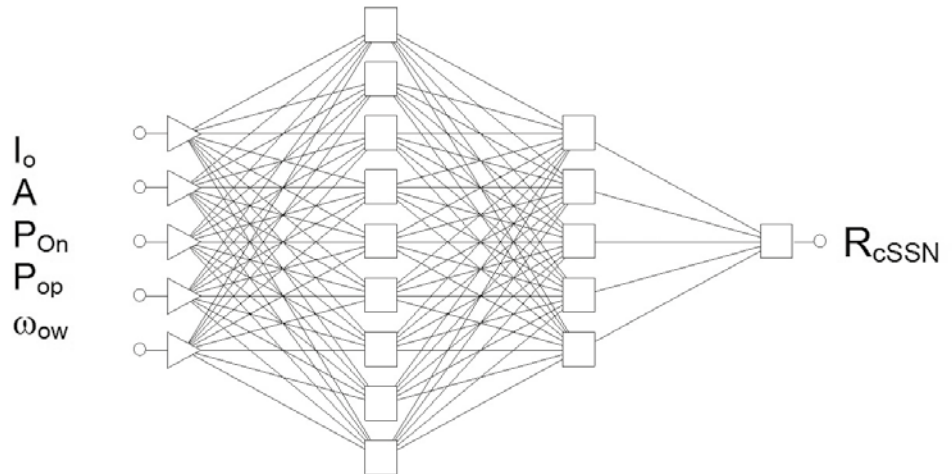
- wprowadzenie cyfrowej transmisji informacji z wykorzystaniem nośników światłowodowych;
- opracowanie urządzeń łączności radiowej przystosowanych do pracy w warunkach kopalnianych;
- opracowanie systemów teletransmisyjnych dla układów monitoringu i sterowania.

Przedstawione wyniki prac analitycznych wskazują, że w najbliższych latach rozwój maszyn górniczych i systemów maszynowych związany będzie z nadaniem im cech szeroko rozumianej inteligencji.

Inteligentna maszyna pomoże operatorowi lepiej oceniać warunki pracy, a także wspierać go w podejmowaniu decyzji. Podobnie jak w dziedzinie technik motoryzacyjnych, inteligentne układy nie tylko będą zbierać informacje o stanie maszyny, ale również o stanie otoczenia. Już obecnie maszyny wyposażane są w systemy odbioru i przetwarzania sygnałów z zewnątrz. Część innowacyjnych układów i systemów elektrycznych, stosowanych np. w innych gałęziach przemysłu, będzie mogła znaleźć zastosowanie również w przemyśle maszyn górniczych.

Rys. 1. Schemat Sztucznej Sieci Neuronowej (SSN) w systemie sterowania prędkością ruchu wysięgnika: I_o – prąd silnika organu urabiającego; A – przyśpieszenie drgań mechanicznych; P_{on} – ciśnienie w komorze podtłokowej siłownika obrotnicy; P_{op} – ciśnienie w komorze nadtłokowej siłownika obrotnicy; ω_{ow} – prędkość kątowna wysięgnika; R_{cSSN} – szacowana wartość oporów skrawania

Opracowanie własne ITG KOMAG



Coraz częściej stosowane są serwonapędy, nieodzowny element układów sterowania maszyn i urządzeń, które pomimo niewielkich gabarytów pozwalają na osiągnięcie dużych mocy wyjściowych i sterowanie za pomocą technologii światłowodowych i bezprzewodowych.

Zastosowanie sterowników umożliwia współpracę z całą gamą czujników, enkoderów inkrementalnych, cyfrowych i liniowych.

Precyzja sterowania wymaga coraz szerszego zastosowania silników krokowych. Oszczędności w zużyciu energii można uzyskiwać, wykorzystując inteligentne, energooszczędne napędy, np. poprzez jej odzyskiwanie podczas hamowania.

Służą temu przemienniki częstotliwości, serwośilniki synchroniczne i energooszczędne przekładnie.

Z uwagi na fakt, że o wydajności i energochłonności maszyn decyduje początkowa faza projektowania i prac badawczo-rozwojowych, istotna jest ścisła współpraca wszystkich specjalistów (projektantów, badaczy maszyn i urządzeń oraz mechatroników) w zakresie tworzenia inteligentnych maszyn.

Metody symulacji komputerowej stwarzają nowe możliwości w projektowaniu, sprawdzaniu funkcjonalności i badaniach maszyn, a co najważniejsze, pozwalają na uniknięcie błędów w fazie projektowania, co w konsekwencji minimalizuje koszty w fazie produkcji i eksploatacji. Techniki symulacji redukują również czas modernizacji i serwisowania maszyn poprzez ich wcześniejsze testowanie w oparciu o odpowiednie modele komputerowe.

Dotychczasowe przykłady coraz szerzej prowadzonej automatyzacji układów inteligentnego sterowania maszyn i urządzeń w górnictwie podziemnym wskazują na ich znaczną przewagę w porównaniu ze sterowaniem manualnym, wykonywanym przez operatorów maszyn [9].

Główne korzyści wynikające z aplikacji inteligentnych systemów maszyn górniczych to:

- zwiększenie bezpieczeństwa pracy poprzez zmniejszanie zatrudnienia w strefach niebezpiecznych;
- poprawa zdrowia poprzez ograniczenie narażenia pracowników na oddziaływanie gazów, zapylenia, hałasu, wibracji i innych szkodliwych czynników;
- zwiększanie efektywności produkcji poprzez efektywne wykorzystanie czasu pracy maszyn;

- zmniejszanie kosztów procesów produkcji poprzez optymalizację parametrów pracy maszyn i urządzeń w aspekcie trwałości, niezawodności i energochłonności.

Należy jednak podkreślić, że wszystkie, nawet inteligentne systemy wspomagające pracę maszyn są obciążone wadami oraz brakiem cech, które posiada tylko człowiek, takich jak umiejętność myślenia i podejmowania decyzji. Stąd też, przed wprowadzeniem do stosowania inteligentnych systemów wspomagających pracę maszyn, konieczne jest prowadzenie badań weryfikacyjnych, potwierdzających ich skuteczność i niezawodność działania [10].

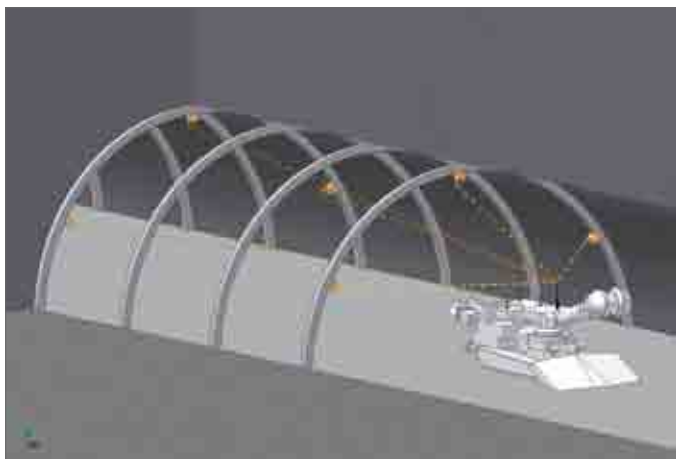
3. Przykłady inteligentnych rozwiązań maszyn i urządzeń dla górnictwa opracowanych przez ITG KOMAG

ITG KOMAG prowadzi szereg prac badawczych i wdrożeniowych z zakresu inteligentnych maszyn i urządzeń, w ścisłej współpracy z partnerami przemysłowymi, przy wykorzystaniu dofinansowania innowacyjnych projektów ze środków krajowych i zagranicznych. Najważniejszym ich elementem jest uwzględnianie rzeczywistych potrzeb rynku oraz perspektywicznych kierunków rozwoju technologii dla górnictwa.

3.1. Inteligentny układ sterowania kombajnu chodnikowego

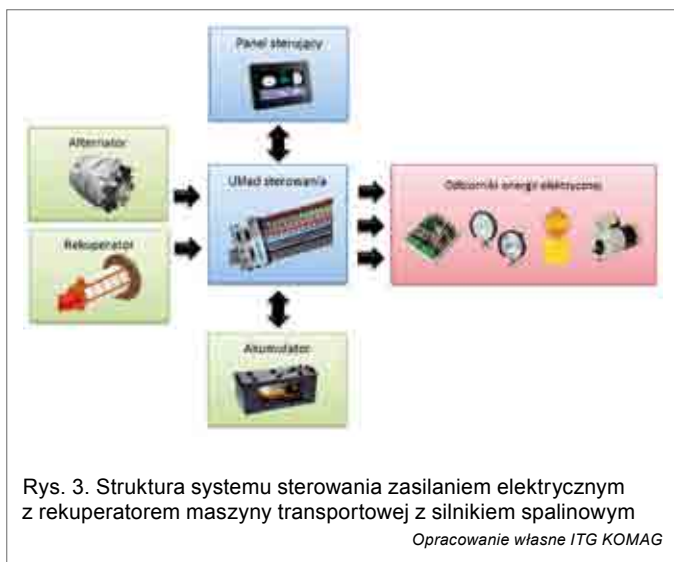
Tendencje w światowym górnictwie wskazują na potrzebę tworzenia inteligentnych układów sterowania kombajnów chodnikowych. Uwzględniając specyfikę technologii drążenia wyrobisk korytarzowych, można stwierdzić, że nie jest możliwe (i uzasadnione) całkowite wycofanie człowieka (operatora) z rejonu pracy maszyny, ze względu m.in. na czynności związane z montażem obudowy chodnikowej. Wprowadzenie układu automatyki, który umożliwiłby wycofanie załogi na ten czas cyklu produkcyjnego, w znaczny sposób może zwiększyć bezpieczeństwo pracy i efektywność urządzenia. Implementacja układu automatyki, który będzie kontrolował parametry pracy kombajnu i wspomagał profilowanie obrysu wyrobiska, może przynieść także inne wymierne korzyści, takich jak.:

- uniemożliwienie przekraczania dopuszczalnych obciążeń napędów, co zwiększy ich żywotność i ograniczy liczbę awarii;
- poprawa wydajności procesu drążenia wyrobiska korytarzowego;



Rys. 2. Koncepcja systemu pozycjonowania dedykowanego do wyrobisk podziemnych

Opracowanie własne ITG KOMAG



Rys. 3. Struktura systemu sterowania zasilaniem elektrycznym z rekuperatorem maszyny transportowej z silnikiem spalinowym

Opracowanie własne ITG KOMAG

- zmniejszenie energochłonności procesu urabiania;
- zwiększenie precyzji wykonania profilu wyrobiska;
- poprawa bezpieczeństwa pracy w przodku.

W ramach projektu badawczego rozwojowego pt. „Inteligentny układ sterowania kombajnu chodnikowego” opracowano w ITG KOMAG propozycję algorytmów sterujących pracą kombajnu chodnikowego, na podstawie metod i technik sztucznej inteligencji, takich jak sztuczne sieci neuronowe oraz logika rozmyta. W wyniku prowadzonych analiz określono automatyczny dobór parametrów pracy kombajnu chodnikowego do warunków otoczenia, uwzględniając m.in. rodzaj urabianej skały [11]. Na rys. 1 przedstawiono schemat Sztucznej Sieci Neuronowej (SSN) w systemie sterowania prędkością ruchu wysięgnika w płaszczyźnie równoległej do spągu wyrobiska.

3.2. System pozycjonowania maszyn pracujących w wyrobiskach kopalnianych

W KOMAG-u realizowany jest również projekt dotyczący hybrydowego systemu pozycjonowania maszyn pracujących w wyrobiskach korytarzowych kopalni. Przewidywanym obszarem zastosowań systemu są kombajny chodnikowe. Proponowane rozwiązanie bazuje na innowacyjnej metodzie wyko-

rzystującej propagację fal w przestrzeni wyrobiska. Koncepcja wzorowana jest na satelitarnym systemie GPS, w którym punktami odniesienia są 24 satelity umieszczone na orbitach geostacjonarnych. W przypadku rozwiązania dedykowanego do implementacji w podziemnych zakładach górniczych rolę satelitów pełnić będą aktywne układy elektroniczne instalowane na elementach obudowy chodnikowej (rys. 2). Układy te będą się komunikowały bezpośrednio z elementami układu nadawczo-odbiorczego zabudowanego na korpusie maszyny.

Implementacja systemu pozycjonowania nie tylko wpłynie na zwiększenie bezpieczeństwa, lecz docelowo umożliwi również automatyzację procesu drążenia, co w sposób istotny wpłynie na zwiększenie efektywności i bezpieczeństwa procesu urabiania.

3.3. System sterowania zasilaniem elektrycznym maszyny transportowej z silnikiem spalinowym

Kolejnym zakresem prac badawczo-rozwojowych objęto system sterowania zasilaniem elektrycznym, z rekuperacją energii cieplnej, który zostanie zaimplementowany w górniczej maszynie transportowej z silnikiem spalinowym. Strukturę systemu sterującego zasilaniem elektrycznym maszyny górniczej przedstawiono na rys. 3. Zadaniem systemu sterowania będzie zintegrowanie i zarządzanie działaniem trzech źródeł energii w pojazdach – alternatora, akumulatora oraz innowacyjnego systemu rekuperacji energii cieplnej. Zastosowanie rekuperatora ma na celu odzyskanie części energii cieplnej i przetworzenie jej na energię elektryczną, wykorzystując do tego celu ogniwa termoelektryczne. Elektryczne podsystemy maszyny będą monitorowane w czasie rzeczywistym pod kątem zapotrzebowania energii. Jeśli zapotrzebowanie to nie przekroczy wydajności systemu rekuperacji, powstanie możliwość całkowitego przejścia zasilania poszczególnych urządzeń bądź ich grup przez termogenerator.

Główne zalety proponowanego systemu to:

- zwiększenie wydajności elektrycznego układu maszyny;
- zmniejszenie obciążenia alternatora;
- oszczędność paliwa;
- redukcja emisji ciepła do otoczenia;
- zmniejszenie emisji substancji szkodliwych do otoczenia;
- usprawnienie systemu chłodzenia silnika;
- stała kontrola stanu rozdziału energii;
- możliwość zastosowania systemu w dowolnej maszynie, w której występują straty energii cieplnej.

Podsumowanie

Kopalnię przyszłości tworzyć będą zintegrowane systemy inteligentnych maszyn i urządzeń. Pozwolą one na zwiększenie efektywności procesu wydobywania węgla kamiennego z zachowaniem bezpieczeństwa pracy.

Dążenie do automatyzacji procesów wydobywczych podyktowane jest pogarszającymi się warunkami górniczo-geologicznymi. Wprowadzenie automatyzacji umożliwia zastąpienie pracy ludzi w skrajnie niebezpiecznych warunkach przez nadzorowane zespoły maszyn i urządzeń. Realizacja tych celów jest możliwa dzięki zastosowaniu coraz bardziej innowacyjnych technologii z dziedziny elektroniki, informatyki, teletransmisji i robotyki.

Przykładem postępu w tym zakresie są wyniki prac badawczych i wdrożeń Instytutu Techniki Górniczej KOMAG, które przedstawiono w niniejszej publikacji. Dowodzą one również, że Instytut uczestniczy w budowie gospodarki opartej na wiedzy, a w szczególności aplikacji inżynierii wiedzy wspomagającej procesy decyzyjne. Główne korzyści wynikające z aplikacji inteligentnych systemów maszyn górniczych to:

- zwiększenie bezpieczeństwa pracy poprzez zmniejszenie zatrudnienia w strefach niebezpiecznych;
- poprawa zdrowia poprzez ograniczenie narażenia pracowników na oddziaływanie gazów, zapylenia, hałasu, wibracji i innych szkodliwych czynników;
- zwiększanie efektywności produkcji poprzez efektywne wykorzystanie czasu pracy maszyn;
- zmniejszanie kosztów procesów produkcji poprzez optymalizację parametrów pracy maszyn i urządzeń w aspekcie trwałości, niezawodności i energochłonności.

Literatura

- [1] ANTONIAK J.: *Przenośniki zgrzeblowe*. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1968.
- [2] GANGULI R.: *Identifying Research Priorities of SME: Results From a Survey of the Membership Preprint 10-026*. SME Annual Meeting Feb. 28-Mar.03, 2010, Phoenix, Arizona.
- [3] KOZIEL A.: *Innowacyjne priorytetowe technologie w przemyśle węgla kamiennego*. [W:] Turek M. (red.): *Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego*, GIG, Katowice, 2008.
- [4] JASZCZUK M.: *Wariant optymistyczny scenariusza rozwoju ścianowych systemów mechanizacyjnych w polskim górnictwie węgla kamiennego*. „Gospodarka Surowcami Mineralnymi”. Kwartalnik, Tom 24 – Zeszyt ½. IGSMiE PAN, Kraków 2008.
- [5] KOZIEL A.: *Scenariusze rozwoju innowacyjnych technologii*. [W:] Turek M. (red.): *Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego*, GIG, Katowice 2008.
- [6] KOTWICA K.: *Scenariusze rozwoju technologicznego drążenia wyrobisk korytarzowych w warunkach polskich kopalń węgla kamiennego*. „Gospodarka Surowcami Mineralnymi”. Kwartalnik Tom 24 – Zeszyt ½. IGSMiE PAN, Kraków 2008.
- [7] PIECZORA E.: *Prognoza rozwoju szynowych systemów transportowych stosowanych w podziemiach kopalń węgla kamiennego*. „Gospodarka Surowcami Mineralnymi”. Kwartalnik Tom 24 – Zeszyt ½. IGSMiE PAN, Kraków 2008.
- [8] CUBER J., TRENCZEK S.: *Wybrane zagadnienia rozwoju infrastruktury systemowej w świetle zagrożeń górniczych*. „Gospodarka Surowcami Mineralnymi”. Kwartalnik, Tom 24 – Zeszyt ½ – IGSMiE PAN, Kraków 2008.
- [9] BRUNE J.: *Extracting the Science a Century of Mining Research*. Society of Mining Metallurgy and Exploration, Inc. (SME), Phoenix 2010.
- [10] KOZIEL A.: *Inteligentne systemy maszyn górniczych*. Kwartalnik Naukowo-Techniczny „Maszyny Górnicze” 2/2011, Gliwice 2011.
- [11] JASIULEK D., ŚWIDER J., STANKIEWICZ K.: *Możliwości zastosowania sztucznych sieci neuronowych w układach sterowania maszyn górniczych*. Innowacyjne Techniki i Technologie dla Górnictwa. KOMTECH 2010. ITG KOMAG, Gliwice 2010. ■