

Możliwości automatyzacji kompleksu ścianowego przy wykorzystaniu systemu sterowania obudową DOH-matic

Piotr Gospodarczyk, Antoni Kalukiewicz, Paweł Mendyka, Grzegorz Stopka, Sławomir Mikuła, Marek Wojtas, Michał Skrabaka


1. Wprowadzenie

Zastosowanie zmechanizowanych kompleksów wydobywczych jest obecnie powszechnie stosowanym rozwiązaniem przy wydobyciu węgla kamiennego w polskim górnictwie podziemnym. Można wyróżnić dwa główne warianty kompleksów, ze względu na rodzaj zastosowanej maszyny urabiającej, a mianowicie rozwiązania strugowe oraz kombajnowe. Zastosowanie technologii strugowej wymaga spełnienia szeregu wymagań, takich jak stosunkowo mała zwięzłość pokładu węglowego, niewielki stopień zaburzeń pokładu (zarówno jeśli chodzi o przebieg warstwy węglowej, jak i obecność zaburzeń i wtrąceń skalnych) oraz niezbyt duża wysokość eksploatowanego pokładu (w warunkach polskich ograniczona wyłącznie do pokładów niskich). Wszystkie te cechy spowodowały, iż w znaczącej większości zmechanizowane kompleksy wydobywcze współpracują z kombajnami ścianowymi.

Użycie struga jako maszyny urabiającej wymusiło zastosowanie daleko posuniętych rozwiązań automatyki do kontroli i sterowania kompleksem wydobywczym. Wykorzystanie strugów do pokładów niskich, wysoka prędkość przemieszczania się maszyny urabiającej i związana z tym konieczność szybkiego sterowania zestawem sekcji obudowy zmechanizowanej oraz ogólne wysokie niebezpieczeństwo dla zdrowia i życia obsługi przebywającej wewnątrz kompleksu wymusiły niemal całkowite wyeliminowanie obecności człowieka z wnętrza kompleksu strugowego w czasie jego pracy. Równocześnie, dzięki automatycznemu sterowaniu kompleksem, uzyskano bardzo duże wydajności eksploatacji węgla przy pomocy strugów.

Te dwie cechy, a mianowicie znaczne poprawienie bezpieczeństwa obsługi i możliwość zwiększenia wydobycia, spowodowały, iż w wielu ośrodkach badawczych i przemysłowych zaczęto badać możliwości zautomatyzowania wyrobiska wyposażonego w kombajn jako maszynę urabiająco-ładującą. Zagadnienie to jest jednak złożone, z jednej strony ze względu na gorsze warunki górniczo-geologiczne, spotykane przy wykorzystywaniu kombajnowych kompleksów wydobywczych, z drugiej zaś na więcej czynników wpływających na prawidłową eksploatację węgla w tego typu kompleksach. W referacie przedstawiono możliwości takiej automatyzacji, oparte o system sterowania obudową zmechanizowaną DOH-matic, opracowany przez Firmę ELSTA (obecnie ELSTA ELEKTRONIKA Sp. z o.o. S.K.A. z siedzibą w Wieliczce) przy współpracy z Centrum Hydrauliki DOH Sp. z o.o. z Bytomia.

Streszczenie: W referacie przedstawiono problemy związane z wdrażaniem zautomatyzowanych kombajnowych kompleksów ścianowych w kopalniach węgla kamiennego. Na tym tle zaproponowano nowe podejście w projektowaniu i zastosowaniu tego typu systemów. Przedstawiono ogólną strukturę i algorytm pracy, w którym podstawową funkcję spełnia układ sterowania zestawem obudowy zmechanizowanej. Przeprowadzona analiza systemu DOH-matic potwierdza pełną funkcjonalność tego rozwiązania jako podstawowego elementu struktury omawianych układów automatyzacji.

 **Abstract:** The article presents issues connected with implementation of automated longwall miner complexes in hard coal mines. In this context a new approach in designing and applying systems of such type was suggested. A general structure was presented as well as work algorithm with the essential function performed by control system of a mechanized lining set. The conducted analysis of the DOH-matic system confirms a full functionality of the solution as a basic element of the discussed automation systems structure.

2. Elementy zautomatyzowanego wyrobiska ścianowego

Zmechanizowany kompleks ścianowy składa się z kombajnu, pełniącego funkcje urabiania i ładowania urobku, przenośników zgrzeblowych podścianowego i ścianowego, odstawiających urobek z wyrobiska do dalszych systemów odstawy (najczęściej szeregu przenośników taśmowych), zestawu sekcji obudowy zmechanizowanej oraz szeregu urządzeń pomocniczych. Elementami bezpośrednio odpowiedzialnymi za prawidłową pracę kompleksu i równocześnie stanowiącymi kolejne ogniwa przeznaczone do zautomatyzowania są sekcje obudowy zmechanizowanej, kombajn oraz ścianowy przenośnik zgrzeblowy.

Większość problemów eksploatacyjnych związanych z pracą przenośnika zgrzeblowego związanych jest z jego rozruchem, szczególnie w przypadku znacznego zasypania urobkiem węglowym oraz sytuacji nagłego wzrostu obciążeń spowodowanych klinowaniem urobku. W większości przypadków praca przenośnika z ustaloną prędkością ruchu zgrzebeł, mimo iż

nieoptymalna pod względem energetycznym i eksploatacyjnym, pozwala na spełnienie wszystkich stawianych przed przenośnikiem wymagań. Alternatywnymi metodami kontroli pracy przenośnika ścianowego jest zastosowanie sprzęgieł CST lub wykorzystanie przemienników częstotliwości. Rozwiązanie pierwsze nie jest zbyt rozpowszechnione w praktyce, głównie ze względu na skomplikowaną budowę i koszt sprzęgła, natomiast zastosowanie przemienników częstotliwości jest ciągle w fazie testów i prób, jednakowoż zdaje się być rozwiązaniem bardzo perspektywicznym i przyszłościowym. Pod względem automatyzacji kompleksu kombajnowego ścianowy przenośnik zgrzeblowy nie dostarcza zbyt wielu problemów, należy jednak uwzględnić specyfikę jego pracy w momencie uruchamiania i awaryjnego zatrzymywania kompleksu.

Kolejnym elementem niezbędnym do zautomatyzowania w zmechanizowanym kompleksie ścianowym jest zespół sekcji obudowy zmechanizowanej. Głównym elementem sekcji obudowy ścianowej są stojaki (podpory) hydrauliczne, bezpośrednio wpływające na zapewnienie wymaganego zabezpieczenia wyrobiska. Bardzo ważne funkcje pełnią też inne siłowniki hydrauliczne wchodzące w skład obudowy, takie jak przesuwnik przenośnika czy korektor stropnicy. Monitorowanie stanu ciśnienia w stojakach jest bardzo ważnym czynnikiem eksploatacji kompleksów ścianowych. Dodatkowo możliwość automatyzacji określonych sekwencji pracy poszczególnych elemen-



Rys. 1. Kombajnowy kompleks wydobywczy w KWK „Murcki-Staszic”

tów obudowy i kontroli ich realizacji pozwala na ograniczenie obecności górnika w wyrobisku. Nie mniej ważną funkcją realizowaną dzięki sekcjom obudowy zmechanizowanej jest kierowanie profilem drążonego wyrobiska, poprzez odpowiednią współpracę sekcji obudowy zmechanizowanej z przenośnikiem zgrzeblowym. Do sterowania i monitoringu pracy obudowy zmechanizowanej stworzono szereg systemów sterowania elektrohydraulicznego, takich jak wspomniany system DOH-matic firmy ELSTA ELEKTRONIKA, rozwiązanie firmy TIEFENBACH czy system monitoringu ciśnień FAMAC RSPC firmy FAMUR.

Trzecim elementem, stanowiącym integralną część zautomatyzowanego kompleksu wydobywczego, jest kombajn ścianowy. Podstawowym zadaniem urządzenia wydobywczego jest urabianie węgla z maksymalną możliwą wydajnością, ograniczoną możliwościami technicznymi urządzenia, możliwą do uzyskania intensywności urabiania i maksymalną wydajnością ładowania (szczególnie w przypadku pokładów niskich). Funkcjonalnie procesy podlegające sterowaniu w przypadku pracy kombajnu ścianowego obejmują prędkość przemieszczania kombajnu i pracę organów urabiających. Obecnie niemal wszystkie nowo produkowane kombajny do sterowania prędkością przemieszczania (prędkością posuwu) wykorzystują przemienniki częstotliwości wraz z rozbudowanym zestawem urządzeń monitorujących pracę napędu. W przypadku pracy organów urabiających w większości przypadków nie ma potrzeby stosowania przemienników częstotliwości – w przypadku wystąpienia zwiększonych obciążeń napędu redukuje się prędkość posuwu lub zmienia położenie organu urabiającego (w przypadku wystąpienia przerostu skalnego lub zmniejszenia miąższości pokładu). Również w tym przypadku napęd organu urabiającego jest poddawany rozbudowanemu monitoringowi. Z uwagi na złożoność procesu sterowania kombajnem, automatyzacja jego pracy w praktyce nie występuje – działaniem kombajnu kieruje wyspecjalizowany kombajnista. Wyjątkiem mogą być konstrukcje nietypowe, jak np. kombajn „Mikrus” produkcji grupy Kopex. Wylimitowanie obecności kombajnisty z wyrobiska ścianowego i docelowo większa automatyzacja pracy kombajnu stanowi obecnie jedno z najważniejszych zagadnień automatyzacji kombajnowych wyrobisk ścianowych. Na rysunku 1 przedstawiono widok zmechanizowanego kombajnowego kompleksu wydobywczego.

3. Koncepty automatyzacji kombajnowych kompleksów zmechanizowanych

Najczęściej rozważaną teoretycznie koncepcją (wg [5]) automatyzacji kombajnowego kompleksu ścianowego jest ustanowienie kombajnu ścianowego urządzeniem centralnym, natomiast pozostałe urządzenia powinny odpowiednio dostosowywać swoją pracę do działania tegoż. Przyczyną takiego podejścia jest wspomniana potrzeba wyeliminowania kombajnisty z przestrzeni wyrobiska ścianowego. Podejście takie wymusza zastosowanie adaptacyjnego systemu sterującego kombajnem, odpowiednio dostosowującego prędkość posuwu i pozycjonowanie organów urabiających. Często dla określenia, czy wzrost obciążenia kombajnu wynika z napotkania przerostu skalnego, czy z zablokowania organu urobkiem, sugeruje się zastosowanie narzędzi urabiających (np. noży styczo-obrotowych) wyposażonych w czujniki obciążenia. Układy takie nie znalazły jednak dotychczas praktycznego zastosowania i obecność kombajnisty w wyrobisku ścianowym wciąż jest wymagana.

Innym, alternatywnym do powyższego podejściem jest wybór obudowy zmechanizowanej jako elementu nadrzędnego, sterującego pracą kompleksu urabiającego. Rozwiązanie to jest ideowo podobne do zautomatyzowanych systemów strugowych, w których to obudowa (a nie strug) stanowi o przebiegu eksploatacji wyrobiska. W przypadku systemów kombajnowych konieczne jest zapewnienie odpowiedniej mocy kombajnu, umożliwiającej pokonanie lokalnych zaburzeń pokładu.

Przebieg eksploatacji jest tutaj wstępnie określany i programowany na podstawie przeprowadzonego drążenia chodników podścianowego i nadścianowego. Zaburzenia pokładu o równomiernym charakterze, takie jak miejscowe pocienienie warstwy węglowej, dostatecznie dobrze może być identyfikowane poprzez wzrost obciążenia na napędzie organu urabiającego przy mniejszej prędkości posuwu.

Cały proces eksploatacji wg przedstawionej koncepcji musi nadal być nadzorowany i w razie potrzeby kontrolowany poprzez doświadczony zespół obsługi, znajdujący się bądź w chodniku podścianowym, bądź na stanowisku operatorskim nieznajdującym się w bezpośrednim sąsiedztwie wyrobiska. Umożliwić to ma rozbudowany system pomiarowy, dostarczający niezbędnych informacji z wyrobiska.

4. System sterowania obudową zmechanizowaną DOH-matic

System elektrohydraulicznego sterowania obudową zmechanizowaną DOH-matic jest zaawansowanym rozwiązaniem, umożliwiającym realizację zaawansowanych funkcji sterowania i monitorowania parametrów pracy obudowy zmechanizowanej. Dla zbadania możliwości automatyzacji kompleksu ścianowego szczególnie wartościowe jest wdrożenie na ścianie 816 pokładu 349 w KWK „Murcki-Staszic”, ruch „Boże Dary”.

Wyposażenie kompleksu ścianowego obejmowało:

- kombajn ścianowy KSW 880E-3,3 kV, o mocy całkowitej 850 kW i prędkości roboczej w zakresie 0–25,6 m/min;
- przenośnik zgrzeblowy ścianowy TAGOR 850;
- przenośnik zgrzeblowy podścianowy Glinik 724;
- obudowa zmechanizowana Glinik 12/23 POz, wyposażona w sterowanie elektrohydrauliczne DOH-matic.

Parametry eksploatacyjne ściany wynoszą odpowiednio:

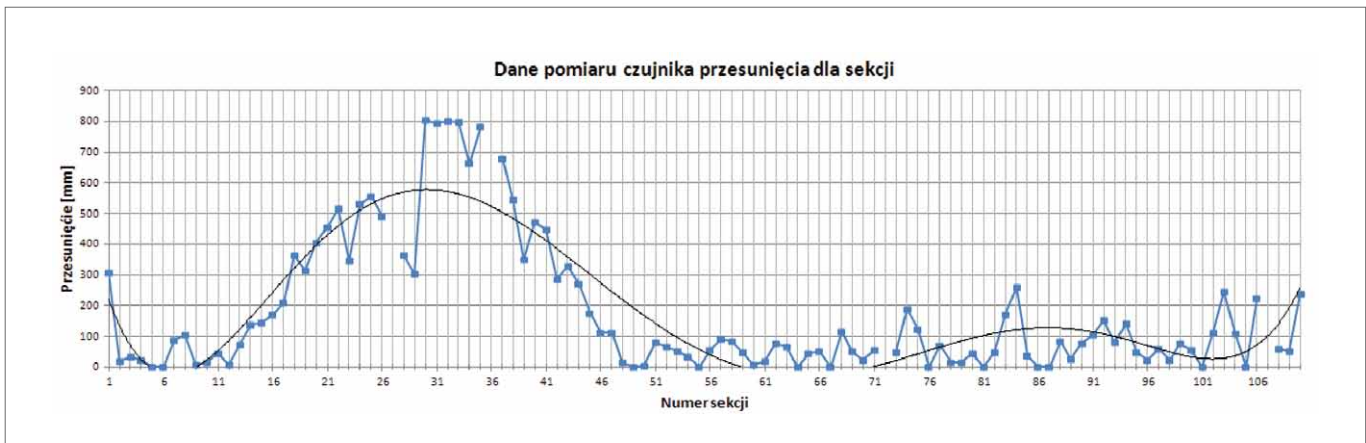
- wybieg – 275 m;
- długość 170–250 m;
- wysokość do 2 m;
- średnie dobowe wydobycie 2500 t/d.

System sterowania był zamontowany na 125 sekcjach obudowy ze 160 sekcji przypadających na pełną długość ściany.

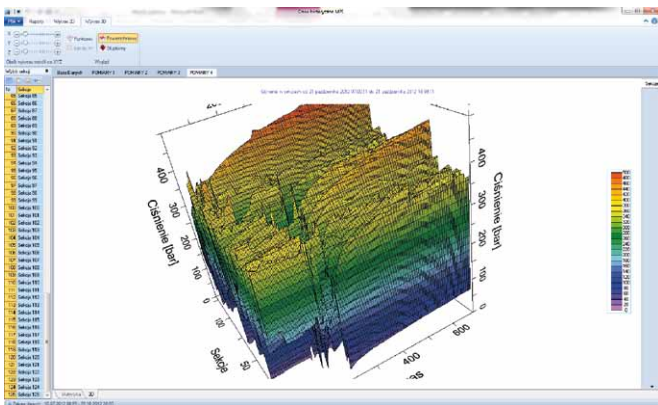
Warto zauważyć, iż mimo prowadzenia różnorodnych prób i testów oraz wykorzystania systemu nieznanego dla obsługi pracującej w danym kompleksie omawiana ściana była jedyną w danej kopalni, która w całym okresie swojej eksploatacji wykazywała większe wydobycie od planowanego.

System DOH-matic posiada w swojej strukturze trzy zasadnicze rodzaje czujników, kontrolujących pracę obudowy zmechanizowanej, a mianowicie czujniki ciśnienia w strefie podtłokowej stojaków obudowy, czujniki przemieszczenia przesuwnika przenośnika zgrzeblowego oraz czujniki wykrywające przejazd kombajnu.

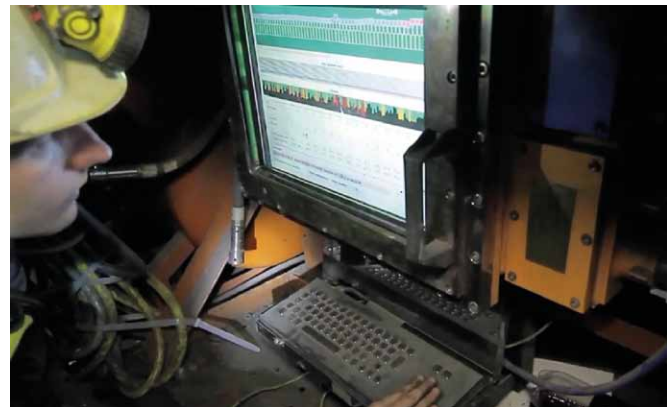
Czujnik obecności kombajnu pełni rolę wspomagającą dla sygnału pomiaru położenia pochodzącego bezpośrednio z kombajnu. Pomiar położenia kombajnu często z dostateczną dokładnością realizowany jest poprzez pomiar liczby obrotów gwiazdy napędowej systemu posuwu. Sygnał pomiaru z obudo-



Rys. 2. Przykładowe wartości wydłużenia przesuwników sekcji ściany 816



Rys. 3. Okno programu kontrolnego, obrazujące przebieg czasowy ciśnienia w stojakach obudowy zmechanizowanej



Rys. 4. Górnik obserwujący stan obudowy w chodniku podścianowym

wy ma charakter weryfikacyjny, pozwalając na wykrycie ewentualnych usterek i awaryjnie umożliwiając prawidłową pracę obudowy w wypadku utraty połączenia z kombajnem. Omawiane czujniki wykorzystywane są podczas automatycznego sterowania przesuwem obudowy za kombajnem (w wybranym trybie – szeregowym, naprzemiennym lub równoczesnym – szczególnie zagadnienia te opisane są w [2]).

Pomiar zmian długości przesuwnika umożliwia monitorowanie kształtu wyrobiska ścianowego. Często podczas eksploatacji wyrobiska ścianowego strefy w pobliżu chodników podścianowego i nadścianowego posiadają mniejszy zabiór, co spowodowane jest złożonym procesem zawrębiania. Podczas pracy systemu DOH-matic przeprowadzono udane testy stabilizacji profilu wyrobiska. Ma to szczególne znaczenie przy węglu o wyższej zwięzłości, kiedy kombajn ma tendencję do odsuwania przenośnika zgrzeblowego od wyrobiska. Przykładowy przebieg stanu przesuwników sekcji pokazano na rysunku 2.

Zasadniczym i najistotniejszym pomiarem dokonywanym na poszczególnych sekcjach obudowy zmechanizowanej jest pomiar ciśnienia roboczego w komorach podtłokowych stojaków. Pomiar ten informuje zarówno o stopniu rozparcia danej obudowy, jak i o przebiegu naprężeń górotworu na prze-

biegu całej ściany. Dla operatora przebieg czasowy ciśnienia w stojakach obudowy jest informacją o aktualnej fazie pracy obudowy w cyklu automatycznym. Przebieg czasowy ciśnienia w stojakach dla całego kompleksu ścianowego przedstawiono na rysunku 3.

5. Wykorzystanie systemu DOH-matic jako elementu zautomatyzowanego kompleksu ścianowego

System DOH-matic, posiadając rozbudowaną, modułową strukturę, może być z powodzeniem wykorzystywany jako element składowy zautomatyzowanego kompleksu kombajnowego. Podczas wdrożenia systemu w kopalni „Murcki-Staszic” przebadane zostały niektóre z funkcji systemu dedykowane do pracy w systemie automatycznym.

Pierwszą z testowanych funkcji było automatyczne przesuwanie sekcji obudów po przejeździe kombajnu. System umożliwia przesuwanie sekcji w normalnym trybie szeregowym, przesuwanie kilku sekcji obudowy równocześnie oraz przesuwanie naprzemienne, podobne do rozwiązań stosowanych w kompleksach strugowych. Druga i trzecia opcja, praktycznie niemożliwe do zrealizowania w przypadku sterowania przyległego, zarówno ze względu na możliwości techniczne, jak i bezpieczeństwo

obsługi, przewidziane są do pracy w wysoko wydajnych kompleksach ścianowych, w których prędkość posuwu kombajnu byłaby większa niż obecnie stosowane.

Drugą z testowanych opcji była automatyczna przekładka przenośnika, ściśle powiązana z procesem przesuwania sekcji obudowy. Funkcja ta realizowana była przy pomiarze wysunięcia przesuwników oraz z uwzględnieniem wcześniejszego przebiegu dosuwania przenośnika, co umożliwiło korekcję (wprostowanie) linii kompleksu wydobywczego. Z funkcją tą ściśle powiązana jest funkcja stabilizacji położenia przenośnika, również niemożliwa do realizacji podczas tradycyjnej eksploatacji.

Ostatecznie przeprowadzono testy pracy obudowy w cyklu w pełni automatycznym. Z uwagi na brak zamontowanego systemu DOH-matic na części obudów, niemożliwe było przeprowadzenie pełnego przejazdu w obydwu kierunkach. Testy zakończyły się powodzeniem, nie napotykając żadnych poważniejszych problemów w trakcie realizacji trybu automatycznego. Co więcej, dane pomiarowe wskazują, iż czas przestawiania sekcji w tym trybie wynosił średnio 12,2 s, natomiast średni czas przestawienia obudowy przez górnika sekcyjnego w trybie ręcznym wynosił 22,2 s.

6. Podsumowanie

Analizując aktualnie stosowane technologie automatyzacji kombajnowych kompleksów ścianowych, rozsądnym wydaje się być stosowanie systemów nadzorowanych, działających nie w pełni autonomicznie, ale pod obserwacją i nadzorem ekip górniczych. Systemy takie pozwalają na zwiększenie wydobywania (co wykazały próby systemu DOH-matic na KWK „Murcki-Staszic”) oraz wyeliminowanie ludzi z wyrobiska ścianowego w czasie normalnej eksploatacji. Jest to niezmiernie ważne, zarówno ze względu na bezpieczeństwo pracy, jak i długotrwałe efekty zdrowotne górników pracujących w kopalniach podziemnych.


Analizując funkcje krajowego elektrohydraulicznego systemu sterowania obudową zmechanizowaną DOH-matic firmy Elsta Elektronika, można z powodzeniem uznać to rozwiązanie jako użyteczne w aspekcie automatyzacji kombajnowych systemów

wydobywczych. System ten umożliwia realizowanie wszystkich funkcji niezbędnych do sterowania obudową zmechanizowaną, pozwala na integrację z innymi elementami składowymi kompleksu wydobywczego i umożliwia pełny monitoring eksploatacji kompleksu, zarówno w wyrobiskach podziemnych, jak i w dyspozytorni na powierzchni.

Kolejnym etapem rozwoju systemu DOH-matic powinna być integracja z systemem sterowania całym kompleksem kombajnowym, a więc przenośnikiem, kombajnem i urządzeniami pomocniczymi. System taki umożliwi realne wdrożenie zautomatyzowanego kompleksu ścianowego do polskich kopalni węgla kamiennego, a przez to w dalszej perspektywie poprawi warunki pracy, zredukuje ilość wypadków, zwiększy wydobywanie i umożliwi pełny monitoring i archiwizację danych dotyczących prac wydobywczych.

Literatura

- [1] JANIK M., KUSKA J., ŚWIECZAK P., WOJTAS M., FITOWSKI K.: *Próby ruchowe sterowania elektrohydraulicznego DOH-matic w ścianie 305 w pokładzie 206 w Kopalni Węgla Kamiennego „Ziemowit”*. „Napędy i Sterowanie” 9/2012.
- [2] KASPRUSZ A., MIKUŁA S., WOJTAS M.: *Sterowanie elektrohydrauliczne DOH-matic do automatyzacji pracy obudowy zmechanizowanej*. „Wiadomości Górnicze” 5/2013.
- [3] KOZIEŁ A., JASIULEK D., STANKIEWICZ K., BARTOSZEK S.: *Inteligentne systemy mechatroniczne w maszynach górniczych*. „Napędy i Sterowanie” 2 /2012.
- [4] KRAUZE K.: *Analiza parametrów kompleksu ścianowego w aspekcie zwiększenia wydobywania dobowego*. „Przegląd Górniczy” 11/2007, t. 63.
- [5] SCHAEFFER M.: *Longwall Automation: State of the Art*. Joy Corp., Mine Expo International, Las Vegas 2008.

 **Piotr Gospodarczyk, Antoni Kalukiewicz, Paweł Mendyka, Grzegorz Stopka** – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza;
Sławomir Mikuła, Marek Wojtas – Elsta Elektronika Sp. z o.o. S.K.A.;
Michał Skrabaka – KWK „Murcki-Staszic”

artykuł recenzowany