

Analiza możliwości zastosowania monitoringu procesu wiercenia w kopalniach KGHM Polska Miedź SA

Wacław Kollek, Zbigniew Maćkowiak, Tomasz Siwulski

1. Wstęp

Technika strzelnicza jest działem wiedzy inżynierskiej, której powstanie było odpowiedzią na potrzeby przemysłu. Wykorzystanie materiałów wybuchowych do urabiania masywów skalnych wykazało wysoką skuteczność. W wyniku prac badawczych określono zależności pomiędzy parametrami zastosowanego materiału wybuchowego, jego masą, własnościami ośrodka urabianego, wielkościami geometrycznymi odnoszącymi się do kształtu, wielkości oraz ilości i rozmieszczenia otworów strzałowych a ilością urobionego materiału. Zależności powyższe zostały wyprowadzone na bazie modeli opartych na założeniach teoretycznych, odwzorowujących rzeczywistość za pomocą założeń upraszczających. Jednym z nich jest stwierdzenie, że otwory strzałowe mają jednoznacznie zdefiniowaną średnicę, oś, długość i położenie w przestrzeni. W praktyce przemysłowej parametry powyższe – wraz z jednoznacznym opisem rodzaju materiału wybuchowego, jego masy oraz innych szczegółów technicznych – zawarte są w metrykach strzałowych. Podczas prac poprzedzających detonację, czyli w czasie procesu wiercenia otworów oraz ich załadunku materiałem wybuchowym, dąży się do jak najdokładniejszego wykonania tych czynności, w miarę możliwości starając się odwzorować w rzeczywistości opis geometryczny oraz parametry zawarte w metryce strzałowej. Określenie położenia otworów w przestrzeni jest tym łatwiejsze, im więcej czasu i miejsca możemy na nie przeznaczyć, zależy również od dokładności zastosowanego systemu pomiarowo-pozycjonującego wiertarki. Przedmiar robót strzałowych można wykonać między innymi: określając jednoznacznie położenie wszystkich otworów strzałowych; tylko jednego, względem którego będą wiercone pozostałe otwory; lub stosując oznaczenia graficzne osi przodka. Niniejszy artykuł ma na celu wskazanie możliwych kierunków rozwoju systemów monitorowania prac wiertniczych, montowanych na pojazdach górniczych, z uwzględnieniem specyficznych warunków eksploatacji złoża panujących w kopalniach głębinowych KGHM Polska Miedź SA.

2. Analiza zagadnienia

Jednoznaczne umiejscowienie punktu w przestrzeni wymaga określenia układu odniesienia oraz trzech parametrów. Układem odniesienia zazwyczaj jest punkt bazowy, w którym umiejscowiony jest początek układu współrzędnych. Rozróżnia się trzy układy współrzędnych w przestrzeni trójwymiarowej:

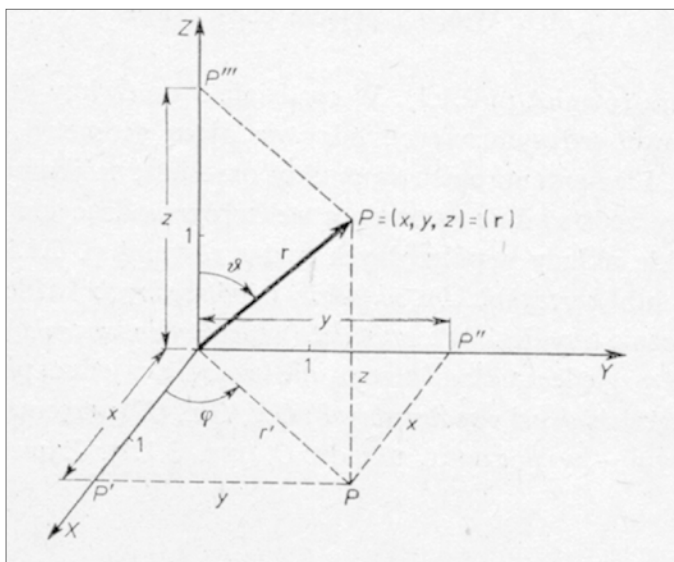
Streszczenie: Rozwój technik pomiarowych umożliwia wprowadzenie do eksploatacji nowych systemów wspomagających pracę operatorów maszyn, w tym również w wykonaniu umożliwiającym ich eksploataowanie w kopalniach głębinowych. Powszechną tendencją jest szukanie rozwiązań technicznych umożliwiających zwiększenie wydajności pracy. W przypadku kopalni podstawowym parametrem jest ilość wydobytej rudy. W kopalniach KGHM Polska Miedź SA stosuje się urabianie rudy miedzi wybuchem. Ilość materiału urobionego przy pomocy wybuchu zależy od wielu parametrów. Jednym z ważniejszych jest dokładność rozmieszczenia oraz wykonania otworów strzałowych w przodku. W trakcie wiercenia otworów strzałowych dąży się do jak najdokładniejszego odwzorowania opisu geometrycznego oraz parametrów otworów zawartych w metryce strzałowej. Określenie położenia otworów w przestrzeni jest tym łatwiejsze, im więcej czasu i miejsca możemy na nie przeznaczyć, zależy też od dokładności zastosowanego systemu pomiarowo-pozycjonującego wiertarki. Przedmiar robót strzałowych można wykonać, między innymi: określając jednoznacznie położenie wszystkich otworów strzałowych; tylko jednego, względem którego będą wiercone pozostałe otwory; lub stosując oznaczenia graficzne osi przodka. Publikacja opisuje możliwe kierunki rozwoju systemów monitorowania prac wiertniczych, montowanych na pojazdach górniczych, z uwzględnieniem specyficznych warunków eksploatacji złoża panujących w kopalniach głębinowych KGHM Polska Miedź SA.

Słowa kluczowe: urabianie skał, wiertnice górnicze, monitoring procesu.

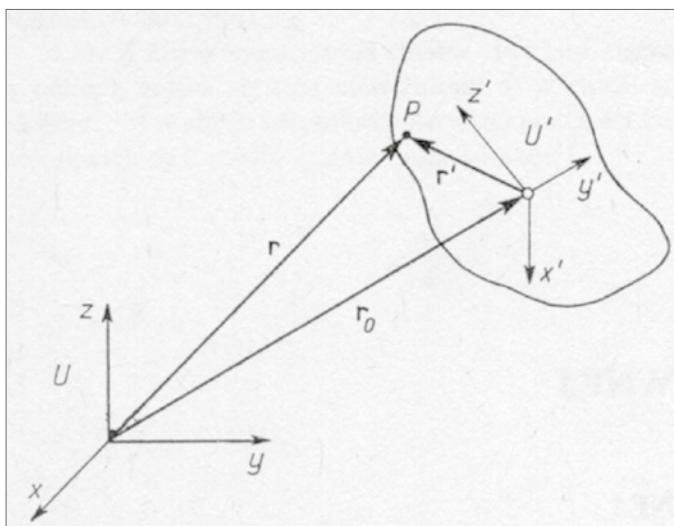
ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF THE APPLICATION OF THE DRILLING PROCESS MONITORING SYSTEM IN THE MINES OF KGHM POLSKA MIEDŹ SA

Abstract: Development of measurement techniques allow to introduce new systems supporting the work of the machines operators, including the solutions which could operate in underground mines. A common tendency is to find technical solutions that help improve the work productivity. In the case of mine, the mass of extracted ore is the basic parameter of the work productivity. In the mines of KGHM Polska Miedź SA used the explosion to crushing copper ore. The mass of the crushed copper ore depends on many parameters. One of the most important is the accuracy of the location and quality of the blast holes in the face of the ore wall. During the drilling of the blast holes operator tries to achieve the most accurate locations and the high quality of the blast holes, based on the parameters contained in the documentation. Determine the location of holes is the easier, if operator has more time and space, and depend of the accuracy used measuring and positioning drills system. Designation of the blast holes location can be done, inter alia, indicating the location of all blast holes, only one which is the base of the location for the all drilling holes or using a graphic sign of the mining tunnel axis. The publication describes the possible directions of development drilling monitoring systems installed on the mining vehicles, taking into account the specific conditions in the underground mines of KGHM Polska Miedź SA.

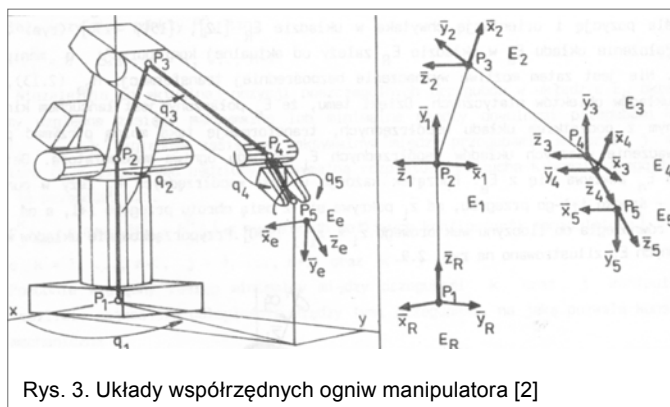
- kartezyjański – oparty na trzech prostopadłych do siebie osiach; położenie punktu definiuje się, podając wartości odległości punktu definiowanego od punktu bazowego, mierzone względem osi układu współrzędnych (x, y, z);



Rys. 1. Prawoskrętny kartezjański układ współrzędnych prostokątnych, układy współrzędnych walcowych i kulistych [3]



Rys. 2. Przesunięcie układu współrzędnych związanego z bryłą (U') określone w odniesieniu do bazowego układu współrzędnych (U) [1]



Rys. 3. Układy współrzędnych ogniw manipulatora [2]

łożenie względem siebie rozpatrywanych punktów związanych z rozpatrywanym elementem. Przedstawiony powyżej sposób identyfikacji położenia obiektu w przestrzeni nie jest jednak często stosowany w praktyce z powodu złożoności jego opisu. Najczęściej w celu określenia położenia bryły w przestrzeni stosowany jest sposób, którego interpretacja graficzna przedstawiona jest na rysunku nr 2. Zakłada on, że z bryłą związany jest na stałe przestrzenny układ współrzędnych prostokątnych U' w taki sposób, by wszystkie punkty bryły zajmowały w tym układzie stałe, niezależne od czasu położenia. Opis położenia bryły w przestrzeni sprowadza się więc do opisu położenia układu współrzędnych związanego trwale z bryłą względem wybranego układu odniesienia [1].

Założenie powyższe leży u podstaw opisu kinematyki robotów przemysłowych i jest szeroko opisane w literaturze z tego zakresu. W celu określenia pozycji narzędzia zainstalowanego na końcu łańcucha kinematycznego manipulatora, jakim jest np. układ roboczy robota, stosuje się transformację Denavita-Hartenberga. Pozwala ona określić położenie narzędzia umieszczonego na końcu manipulatora wraz z podaniem jego orientacji kątownej. Metoda ta opiera się na założeniu, że manipulator składa się z pojedynczych par kinematycznych obrotowych oraz translacyjnych, jednoznacznie zdefiniowanych w układzie kinematycznym, oraz znane są chwilowe kąty obrotu oraz przemieszczenia w tych parach. Każdej parze kinematycznej przypisany jest układ współrzędnych (rys. 3). Bazowy układ odniesienia transformowany jest w zależności od parametrów geometrycznych układu kinematycznego w układ odniesienia narzędzia zamontowanego na końcu łańcucha kinematycznego manipulatora, za pomocą pośrednich układów współrzędnych. W powyższym podejściu bazowy układ jest jednoznacznie określony i nie ulega przemieszczeniu. Wadą tego rozwiązania jest wymóg zainstalowania przetworników kąta oraz przemieszczenia w każdej parze kinematycznej manipulatora.

Powyżej przedstawiony sposób określania pozycji narzędzia w przestrzeni spełnia wymagania stawiane wiertnicom górniczym i jest montowany, zazwyczaj jako wyposażenie opcjonalne, przez większość producentów tego rodzaju maszyn. W opisach technicznych maszyn górniczych system ten nosi nazwę systemu monitoringu wiercenia.

Udowodniono, że zastosowanie systemu monitoringu procesu wiercenia korzystnie wpływa na wielkość zabioru, a co za tym idzie, na wydajność procesu wydobywania. W związku z tym podejmowane były próby wprowadzenia do eksploatacji tych systemów w kopalniach KGHM Polska Miedź SA. Testowano

- sferyczny – opis opiera się na zdefiniowaniu rzeczywistej odległości mierzonej od punktu bazowego do punktu definiowanego, będącej zarazem długością wektora wodzącego (r) zaczepionego w środku układu współrzędnych, którego długość odpowiada wektorowi przesunięcia punktu bazowego do punktu definiowanego, oraz dwóch kątów opisujących nachylenie wektora wodzącego względem dwóch prostopadłych płaszczyzn (φ, ψ);
- walcowy – opierający się na określeniu położenia za pomocą jednej wartości kątowej (φ) oraz dwóch długości (r', z).

Jednoznaczne określenie położenia elementu bryłowego w przestrzeni wymaga określenia położenia trzech punktów do niego należących i nieznajdujących się na jednej prostej. W ogólnym przypadku wymaga więc podania dziewięciu parametrów odniesionych względem jednoznacznie zdefiniowanego punktu bazowego, przy czym uwzględnić należy również po-

różne rozwiązania techniczne, umożliwiające identyfikację położenia otworów lub wiertarki w przestrzeni przodka, a wyniki tych prób są podstawą dalszych prac, mających na celu umożliwienie wdrożenia efektywnego systemu monitoringu wiercenia w polskich kopalniach miedzi.

3. Doświadczenia KGHM Polska Miedź SA w aplikacjach systemu monitoringu procesu wiercenia

Stosowany obecnie powszechnie system kontroli dokładności wiercenia otworów strzałowych oparty jest praktycznie, na wzrokowej ocenie odległości i nachylenia ramy prowadniczej wozu wierzącego. Kontrolę tej dokonuje operator wozu ze stanowiska, z którego steruje położeniem ramy. Długość ramy, rzędu 5 m, oraz jej budowa w istotny sposób uniemożliwiają dokładne jej ustawienie. W zasadzie cała operacja oparta jest na doświadczeniu operatora maszyny, jego wyobraźni przestrzennej i kondycji w danym dniu.

Elementem wspomagającym system jest stosowane czasami malowanie farbą w czole przodka punktów odzwierciedlających rozmieszczenie otworów oraz współudział drugiego górnika (tzw. przodowego), który stojąc kilka metrów za wozem wierzącym, obserwując ramę prowadniczą z innego punktu niż operator, wydaje mu polecenia co do położenia tej ramy. Metodę tę należy uznać za prymitywną, niedoskonałą i obciążoną dużym błędem.

W wyniku spostrzeżeń i doświadczeń wyniesionych z pobytu grupy inżynierów strzałowych w kopalniach szwedzkich, w roku 1998 zakupiono w firmie Tamrock system monitorowania procesu wiercenia i zamontowano go na jednej z wiertnic typu SWS-VIR. System TMS DD (*Tamrock Monitoring System*) umożliwiał kontrolę położenia ramy prowadniczej w płaszczyźnie poziomej i pionowej oraz zliczał długość wierconych otworów.

System składał się z 4 czujników zamontowanych na ramie prowadniczej, jednego czujnika na platformie wozu, zespołu przetwarzania danych oraz panelu sterowania i wyświetlania danych, zamontowanego w pobliżu pulpitu stanowiska operatora.

W trakcie wdrażania systemu, podczas wiercenia otworów strzałowych, okazało się, że proces pozycjonowania maszyny i kalibrowania poszczególnych nastaw jest długotrwały, czasem uciążliwy i wymagający ciągłego korygowania wskutek drgań maszyny, a także ponawiania tych operacji przy każdym przestawianiu maszyny.

W trakcie kolejnej próby wiercenia otworów z zastosowaniem systemu nastąpiło oberwanie się mas skalnych w czole przodka, powodując mechaniczne uszkodzenie czujników i przerwanie kabli i przewodów sterujących.

Naprawa systemu we własnym zakresie przez służby mechaniczne kopalni nie powiodła się, a oferta serwisanta systemu okazała się za droga. System TMS zdemontowano z wozu wiertniczego i zaniechano jego naprawy.

W latach 2000–2009 wielokrotnie podejmowano rozmowy z firmami produkującymi wozy wiertnicze na temat fabrycznego wyposażenia w systemy monitorujące proces wiercenia, tak jak ma to miejsce w wielu kopalniach zagranicznych, zwłaszcza przy drążeniu tuneli. Oferty przedstawiane przez producentów okazywały się nieprzystające do wymagań i warunków kopalń KGHM. Przede wszystkim podstawą tych systemów jest w dalszym ciągu oczujnikowanie maszyny i żmudne kalibrowanie

nastaw. Także zastosowanie delikatnych i wrażliwych elementów elektronicznych w tych systemach każe wątpić w ich trwałość w warunkach dołowych.

Brak prostego, a jednocześnie skutecznego i odpornego na warunki dołowe systemu monitorowania procesu wiercenia w kopalniach KGHM jest jedną z barier doskonalenia techniki strzałowej i jej rozwoju w kierunku stosowania zabiorów zwiększonych do 4, a nawet 6 metrów, które stały się już powszechne w drążeniu np. tuneli. Opracowanie systemu monitoringu wiercenia przodka, który sprawdziłby się w warunkach kopalni głębinowych KGHM Polska Miedź SA umożliwiłoby więc zwiększenie wydajności prac strzałowych, a co za tym idzie, umożliwiłoby zwiększenie wydobywania.

4. Kierunki prac koncepcyjnych

Z przedstawionych informacji jednoznacznie wynika, że korzystne byłoby opracowanie na potrzeby polskich kopalni miedzi systemu monitoringu wiercenia przodka nie opartego na układzie przetworników zamontowanych na układzie roboczym wiertnicy. W oparciu o analizę zagadnienia dokonaną w powyższych rozdziałach, a także o wyniki prac studyjnych wykonanych przy współpracy KGHM Polska Miedź SA oraz Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej zdefiniowano obszar możliwych rozwiązań, które są bazą do rozpoczęcia pracy badawczej, mającej na celu opracowanie prototypu systemu monitoringu wiercenia, którego cechy umożliwią bezproblemową eksploatację w warunkach kopalni KGHM Polska Miedź SA. Możliwe rozwiązania poszczególnych zagadnień pogrupowane zostały w następujący sposób:

1. Rodzaj sposobu określania położenia wiertarki
 - 1.1. W odniesieniu do czoła przodka z zastosowaniem znaczników;
 - 1.2. W odniesieniu do pojazdu:
 - 1.2.1. Analiza położenia wszystkich par kinematycznych układu roboczego, których określenie umożliwia jednoznaczne wyznaczenie położenia narzędzia w przestrzeni;
 - 1.2.2. Określenie położenia względem pojazdu trzech punktów należących do ramy nośnej wiertarki lub wiertarki i nie należących na jednej prostej;
 - 1.3. W odniesieniu do punktu bazowego umieszczonego w przestrzeni przodka, np. przymocowanego do stropu wyrobiska.
2. Sposób pozycjonowania pojazdu w przodku (wymagane tylko w przypadku umieszczenia punktu bazowego na pojeździe)
 - 2.1. Obserwacja znacznika przez operatora (sposób stosowany w kopalniach KGHM Polska Miedź SA);
 - 2.2. Z zastosowaniem dodatkowych urządzeń, umożliwiających jednoznaczne określenie położenia pojazdu w odniesieniu do przodka.

Miejsce umieszczenia punktu bazowego jest kluczowym zagadnieniem, definiującym postać i elementy całego systemu. Punkt ten może być umieszczony na pojeździe, lecz w tym przypadku niezbędne jest uwzględnienie problematyki pozycjonowania pojazdu w przestrzeni przodka. W ostatniej dekadzie pojawiły się rozwiązania techniczne, umożliwiające określenie położenia pojazdu górniczego w kopalni głębinowej odniesio-

nego względem ociosów i spągu korytarzy podziemnych [4] lub względem nieruchomych punktów bazowych rozmieszczonych w ciągach komunikacyjnych kopalni [5]. Alternatywnym rozwiązaniem jest dokonywanie określenia położenia wiertarki w odniesieniu do czoła przodka lub innego punktu znajdującego się w przestrzeni wyrobiska, z pominięciem parametrów dotyczących usytuowania pojazdu. Umieszczanie znaczników na ścianach, stropie lub czołe przodka jest rozwiązaniem technicznym mieszczącym się w tej grupie tematycznej. Niestety jest to rozwiązanie wymagające udziału górników przebywających w przodku w trakcie wykonywania oznaczeń, co związane jest ze zwiększeniem zagrożenia ze strony odrywających się ze stropu mas skalnych. Dodatkowym minusem tego rozwiązania jest fakt, że wykonanie dokładnego oznakowania przodka (np. położenia każdego otworu strzałowego) wymaga znacznej ilości czasu i negatywnie wpływa na wydajność procesu wydobywania.

5. Podsumowanie

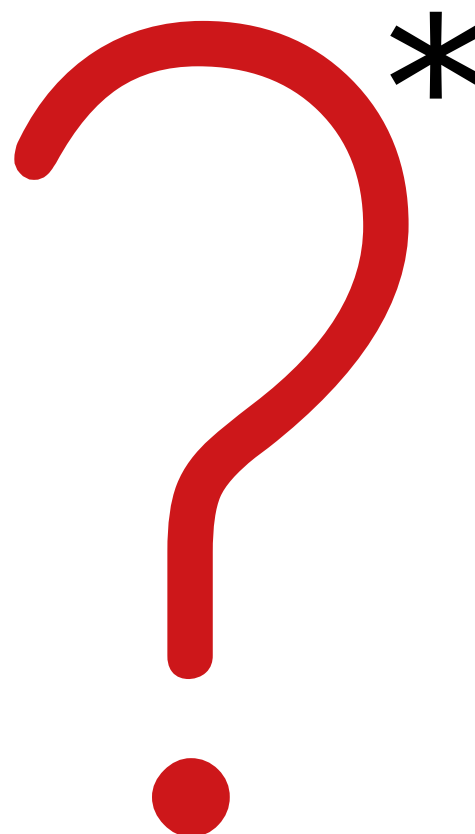
Zebrane w artykule fakty jednoznacznie wskazują, że istnieje potrzeba opracowania systemu monitoringu procesów wiercenia przodka, którego rozwiązania techniczne umożliwiłyby spełnienie wymagań stawianych przy podziemnej eksploatacji złoża w KGHM Polska Miedź SA. Próby zastosowania znanych rozwiązań oraz prostych urządzeń wspomagających niestety nie dały oczekiwanych rezultatów. Zagadnienie monitoringu procesu wiercenia jest o tyle ważne, że jakość odwiertu przodka wpływa bezpośrednio i znacząco na wielkość zabioru, a co za tym idzie, na wydajność procesu urabiania złoża. Opracowanie systemu monitoringu wiercenia oraz wprowadzenie go do eksploatacji dałoby więc wymierne korzyści ekonomiczne oraz umożliwiłoby analizę wpływu jakości odwiertu na wielkość zabioru urobku w warunkach podziemnego złoża miedzi, eksploatowanego przez KGHM Polska Miedź SA.

Literatura

- [1] BLINOWSKI J., TRYLSKI J.: *Fizyka dla kandydatów na wyższe uczelnie*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1977 r.
- [2] JACAK W.: *Roboty inteligentne – metody planowania działań i ruchów*. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1991 r.
- [3] KORN G. A., KORN T. M.: *Matematyka dla pracowników naukowych i inżynierów*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1983 r.
- [4] MÄKELÄ H., VON NUMERS T.: *Method and apparatus for determining position of mining machine*. U.S. Patent nr 6,898,503.
- [5] MÄKELÄ H.: *Method for automatically guiding a mining machine*. U.S. Patent nr 7,191,060.

Wacław Kollek, Zbigniew Maćkowiak, Tomasz Siwulski –
Politechnika Wrocławska,
KGHM Polska Miedź SA, oddział Z.G. Rudna

artykuł recenzowany



* z nami nie ma trudnych pytań

napędy		nowości techniczne
automatyka przemysłowa		
energoelektronika		
aparatura kontrolno-pomiarowa		technologie i produkty
mechatronika		
systemy zasilające		nauka
układy zabezpieczeń		
osprzęt peryferyjny		informacje branżowe
hydraulika		
pneumatyka		
robotyka		

napędy i sterowanie miesięcznik naukowo-techniczny

www.nis.com.pl