

Automatyzacja funkcjonowania maszyn roboczych w skalnym górnictwie podziemnym i odkrywkowym

Jan Marianowski

1. Wprowadzenie

Stale poszukuje się coraz lepszych i wydajniejszych metod pozyskiwania surowców zalegających w skałach trudno urabialnych (rudzie metali, budowlane i chemiczne surowce mineralne). Odpowiedź na pytanie, czy istnieje sposób rozbudowy lub wręcz budowy nowej kopalni, który pomoże w redukcji kosztów pozyskiwania surowca nie jest łatwa. Dla inżynierów zaangażowanych w budowę korytarzy, chodników, przekopów (ale także i tuneli) priorytetem jest niezwykle precyzyjne wiercenie małych średnicowych (38–45 mm) krótkich otworów poziomych [9, 10, 11, 13, 14], natomiast dla inżynierów górników wyzwaniem jest osiągnięcie wysokiej precyzji w drążeniu długich średnio średnicowych (89–127 mm) otworów pionowych w spągu lub w stropie [5, 8]. Te dwa aspekty niezwykle wpływają na koszt produkcji surowca, w której tym sposobem eliminuje się do minimum możliwość powstawania brył nadwymiarowych, których konieczność rozdrobnienia wymaga zaangażowania dodatkowego czasu i środków technicznych.

Wydaje się, że w chwili obecnej pojawiły się czynniki mogące mieć daleko idące konsekwencje dla rozwoju kopalń, tj. ostatnie postępy w zdalnym sterowaniu, automatyzacji pracy i nawigacji ciężkimi maszynami roboczymi, w których zagadnienie ręcznego sterowania doprowadzono właściwie do perfekcji stosując w układach sterowania joysticki hydrauliczne i elektrohydrauliczne [4, 12, 15].

Automatyzacja, zdalne sterowanie i nawigowanie tymi maszynami jest w przypadku eksploatacji surowców zalegających w wyżej wzmiankowanych skałach bardzo trudne przede wszystkim z uwagi na cykliczność, ale i wymaganą kolejność prowadzonych prac z tym związanych:

- wiercenie otworów strzałowych (wozy wiertnicze, wiertnice);
- strzelanie z użyciem MW;
- załadunek i transport (ładowarki, koparki);
- kotwienie (na odkrywcę nie) stropu.

Z uwagi na szczupłość miejsca w dalszej części artykułu zaprezentowano tylko ogólne zasady wprowadzania automatyzacji i fragmenty rozwiązań, których wprowadzenie zakończyło się sukcesem. Artykuł odnosi się do wybranych maszyn roboczych ciężkich związanych z eksploatacją z pomocą MW grupy surowców zalegających w skałach zwięzłych i bardzo zwięzłych tak na powierzchni, jak i pod ziemią.

2. Motywy wprowadzania zdalnego sterowania maszynami roboczymi

Spiritus movens działań stojących za decyzjami inwestycyjnymi w automatyzację są przede wszystkim takie aspekty, jak:

Streszczenie: Sprecyzowano motywy wprowadzania zdalnego sterowania pracą ciężkich maszyn roboczych w górnictwie. Opisano systemy sterowania i kontroli pracy tych maszyn. Szczególny nacisk położono na sposoby nawigacji maszynami w górnictwie podziemnym oraz odkrywkowym. Jak dotąd w dziedzinie automatyzacji osiągnięto pozytywne rezultaty wprowadzając ją do ładowarek i wozów odstawczych w kopalniach pod ziemią oraz do wiertnic pracujących w kopalniach odkrywkowych.

🇬🇧 AUTOMATION OF HEAVY DUTY MACHINE OPERATION INTO UNDERGROUND AND OPENCAST ROCK MINING

Abstract: The motives of application of remote control to heavy duty machine operation into mining have been defined. The systems of control and monitoring of these machines have been described. A particular attention was given on machine navigation ways into underground and opencast mining. Up till now there were only achieved the satisfactory results of implementation of automation in mining into loaders and haulage cars in underground mines and also to drilling rigs operating in opencast mines.

Ekonomia umożliwiająca uzyskanie oszczędności w kosztach wydobycia surowca, co zwiększa konkurencyjność konsorcjum wydobywczego na rynku.

Bezpieczeństwo, w centrum którego jest minimalizacja ryzyka pracy górników w niezwykle trudnym, nieprzyjemnym i niebezpiecznym środowisku pracy.

Ergonomia pozwalająca na stwarzanie operatorom coraz bardziej przyjaznych i komfortowych warunków pracy.

Jakość wyrażająca się takimi czynnikami, jak: dokładne wykonywanie otworów wiertniczych wyznaczonych przez metrykę wiertniczą skutkujące lepszą fragmentacją urobku, ale i uzyskiwaniem wyrobisk o pożądanym w technologii wydobycia kształcie (mniejsze straty urobku), stabilne cykle odbioru i transportu urobku ładowarkami pozwalające na większą kontrolę nad ilością urobku z każdego przodka itp.

Wydajność, która jakkolwiek jest podstawą mechanizacji wszelkich prac, i która powinna być zwiększona w poprawnie zrealizowanym nowym rozwiązaniu, tym niemniej w początkowych fazach każdego nowego projektu dotyczącego automatyzacji procesu wydobycia nie jest ona najważniejszą.



Rys. 1. Sterowanie operacją kotwienia stropu [18]



Rys. 2. Sterowanie i nawigowanie pracą ładowarki z użyciem kamer i monitorów [16]



Rys. 3. Ładowarka pracująca w systemie telesterowania. Widoczny zespół anten nadawczo-odbiorczych [17]

3. Systemy sterowania i kontroli pracy maszyn roboczych

Odmienność systemów eksploatacji surowców zalegających w skałach zwięzłych i bardzo zwięzłych a eksploatowanych metodą odkrywkową lub podziemną spowodowała, że w technice, w szczególności w technice nawigacji maszynami roboczymi, wykształciły się nieco odmienne systemy odczytu i sterowania położeniem maszyn, a także sterowania ich funkcjonowaniem.

Analizując rozwiązania związane ze zdalnym sterowaniem i nawigacją maszynami roboczymi można je przyporządkować czterem głównym grupom:

- zdalne sterowanie maszyną będącą w zasięgu wzroku (*line of light*): operator musi widzieć urządzenie, którym steruje, rys. 1;
- zdalne sterowanie z użyciem kamer i monitorów, rys. 2;
- telesterowanie, rys. 3;
- praca programowa – autonomiczna.

3.1. Sterowanie *line of light*

System sterowania maszyną będącą w polu widzenia operatora oparty jest na urządzeniu składającym się z dwóch oddzielnych jednostek (*hardware*):

- jednostka RRC (*Radio Remote Control*) znajdująca się po stronie operatora i posiadająca wszystkie kontrolery i wskaźniki;
- jednostka zamontowana w maszynie, zintegrowana z elektrohydraulicznym systemem sterowania maszyną.

Najważniejszą zaletą tego systemu jest dwukierunkowa łączność (radiowa) między pilotem a odbiornikiem. Oprócz przekazywania komend sterujących z pilota do maszyny, możliwa jest transmisja danych z maszyny do pilota sterującego. Pozwala to na sprawdzanie stanu maszyny bez konieczności zbliżenia się do niej, rys. 1. W zależności od potrzeb i sytuacji sterowanie maszyną może być zdalne lub lokalne. Zdalne sterowanie jest realizowane drogą radiową lub kablową. Sterowanie lokalne maszyną odbywa się za pośrednictwem pilotów kablowych połączonych bezpośrednio ze sterownikiem maszyny (z pominięciem odbiornika radiowego). Większość użytkowników woli jednak stosować między tymi jednostkami systemu komunikację bezprzewodową, jakkolwiek wytwórcy oferują również możliwość komunikacji przewodowej. Zaletą rozwiązania kablowego jest to, że jednostka sterująca może być zasilana z urządzenia kontrolowanego. Urządzenia ze sterowaniem *line of light* zostały przez wielu wytwórców poddane procedurze standaryzacji obejmującej rozwiązania rozmieszczenia joysticków, wskaźników i przycisków na panelu jednostki RRC. Dotyczy to również rozwiązań obejmujących specyficzne w swej konstrukcji i działaniu maszyny wiertnicze wyposażane w nową generacji w system kontroli pracy przewodu wiertniczego RCS (*Rig Control System*), gdzie stosuje się przejrzysty i prosty w obsłudze interfejs magistrali CAN (*Common Area Network*) komunikacji jednostki umieszczonej na urządzeniu sterowanym z jednostką sterującą RRC. Informacje o pozycji drążka sterującego joysticka, przyciskach, wyłącznikach i alarmach przesyłane są w formie szeregowych pakietów danych magistralą do wiertnicy.

3.2. Sterowanie z użyciem kamer i monitorów

Sterowanie z użyciem kamer i monitorów jest sterowaniem podobnym do sterowania *line of light* z tą małą różnicą, że obecność operatora została zastąpiona układem kamera–monitor. Z pozoru rozwiązanie to jest rozwiązaniem prostym, lecz wykorzystanie obrazu wideo przesyłanego w czasie rzeczywistym z kamery do monitora wymaga zastosowania dużych łączy o bardzo dużych przepustowościach. Jednak dodatkowy widok z kamery usytuowanej na urządzeniu bywa bardzo pomocny podczas sterowania maszyną w miejscach niedostępnych rzeczywistemu operatorowi, rys. 2.

Maszyna, w tym przypadku mowa o ładowarce, wyposażona jest w cztery kamery – dwie z przodu i dwie z tyłu, uzupełnione zewnętrznymi kamerami zamontowanymi w chodniku, w obszarze załadunku i rozładunku.

3.3. Telesterowanie

Telesterowanie oznacza połączenie maszyny z siecią radiową działającą w kopalni. Oznacza to, że powstaje możliwość sterowania urządzeniami z dowolnego miejsca objętego tą siecią. Rozwiązanie to w chwili obecnej można uznać za rozwiązanie na najwyższym technicznym poziomie z którego prowadzi już droga do pełnej autonomiczności pracy maszyny, rys. 3.



Rys. 4. System zarządzania i sterowania maszynami wiertniczymi z wykorzystaniem Internetu. Wiertnice pracują w trybie autonomicznym [5]

3.4. Praca programowa autonomiczna

Kopalnie skalnych surowców jako jedne z pierwszych, umożliwiły w miarę pełne wprowadzenie sterowania i pracy maszyną (wiertniczą) opartych o autonomiczność układu roboczego. Niedoskonałością rozwiązania, rys. 4, jest jeszcze (powodowana zachowaniem bezpieczeństwa) konieczność obecności operatora wiertnicy wewnątrz maszyny od początku wiercenia aż do jej zakończenia, czyli wykonania kompletu otworów dla danej serii strzałowej.

4. Nawigacja pod powierzchnią ziemi (ładowarki)

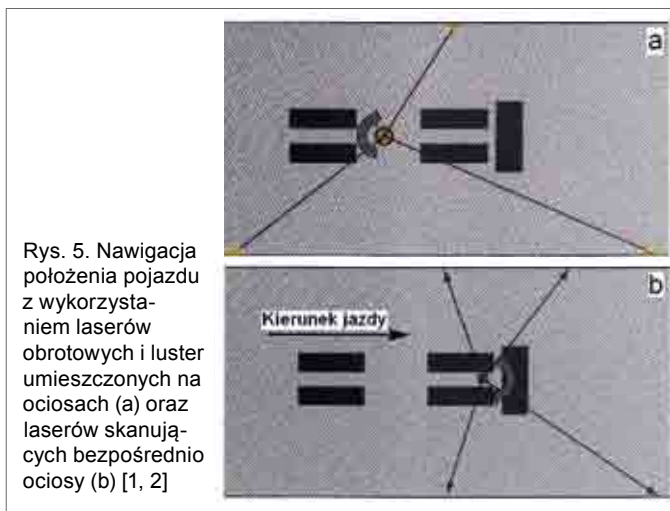
Pod powierzchnią ziemi systemy nawigacyjne różnią się zasadniczo od powierzchniowego pozycjonowania absolutnego.

Nawigację zdefiniować można jako permanentne porównywanie pozycji rzeczywistej z pozycją, w której dany obiekt powinien się znaleźć. Oznacza to także nieustanne obliczanie kierunku przemieszczania się samej maszyny, jest to tzw. pozycjonowanie względne. Niestety w metodzie tej następuje efekt akumulacji błędów (każde odchylenie w wyznaczeniu kierunku pogarsza precyzję następnego obliczenia). Dlatego co pewien okres czasu musi mieć miejsce procedura absolutnego pozycjonowania.

4.1. Nawigacja z pomocą obrotowych laserów i nieruchomych zwierciadeł

Zasada ich działania jest prosta: mały obracający się laser z detektorem jest zamontowany na dachu pojazdu, rys. 5 a. Sensor ten wysyła promienie lasera i wykrywa światło odbite od specjalnych nieruchomych zwierciadeł zamontowanych na ociosach chodnika. Podczas obracania się sensora zmienia się kąt pomiędzy kierunkiem przemieszczania się pojazdu a zwierciadłami. Przez porównanie specyficznych wzorów odbić jest możliwe określenie absolutnej pozycji pojazdu. Zasada jest bardzo podobna do odnajdywania swojej pozycji z wykorzystaniem szczególnych znaków terenu, kompasu i mapy. Znakami terenu są tutaj zwierciadła, kompasem jest czujnik laserowy, a mapa jest tworzona z wykorzystaniem odbić laserów.

Nadmienić należy, że wykorzystanie obrotowych laserów jest od wielu lat stosowane do naprowadzania samodzielnych pojazdów w magazynach i halach fabrycznych. Jednakże prędkość



Rys. 5. Nawigacja położenia pojazdu z wykorzystaniem laserów obrotowych i luster umieszczonych na ociosach (a) oraz laserów skanujących bezpośrednio ociosy (b) [1, 2]



Rys. 6. Widok lasera skanującego zamontowanego w przedniej części ładowarki (u góry) oraz umiejscowienie czujnika skrętu (u dołu) [19, 20]

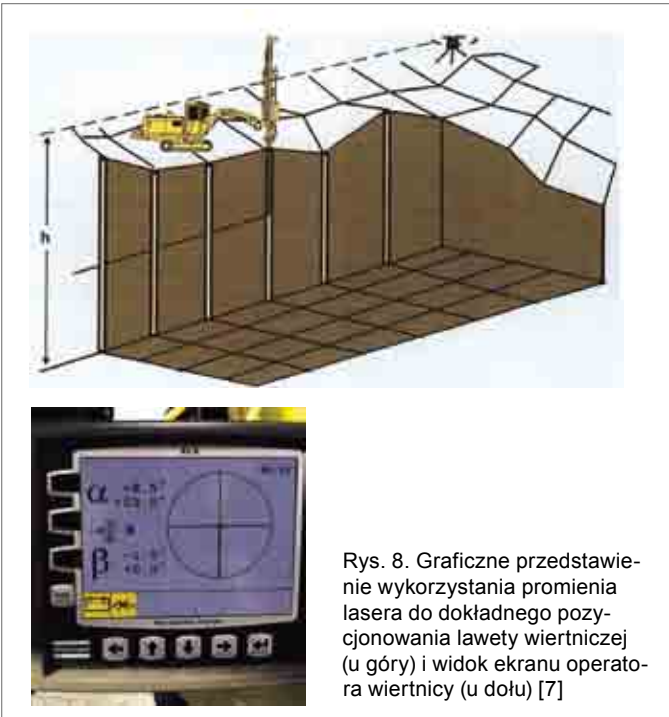
przemieszczania się tych pojazdów jest o wiele niższa aniżeli maksymalne prędkości uzyskiwane przez ładowarki czy wozy odstawcze stosowane w kopalniach.

4.2. Nawigacja z pomocą laserów skanujących

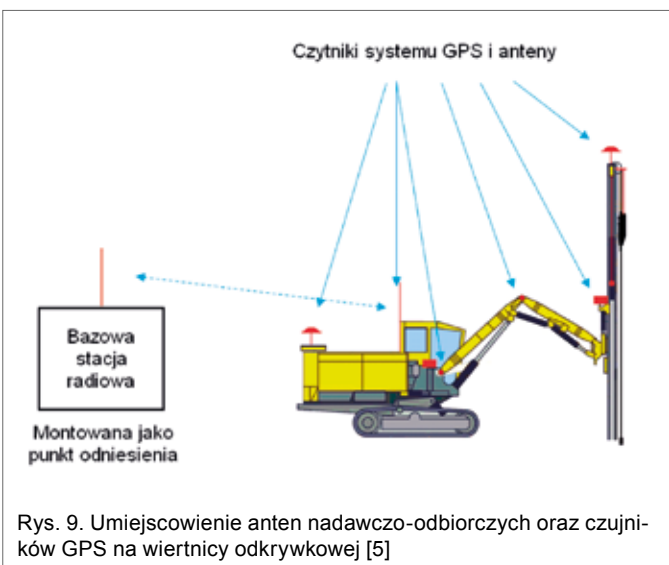
Skanery laserowe oparte są o najnowszą technologię w budowie emiterów i sensorów laserowych. Ta metoda nawigacji nie wymaga żadnego specjalnego oznaczania terenu. W metodzie tej, rys. 5 b, bezustannie wykonywane są pomiary odległości pomiędzy czujnikiem a ociosem chodnika w zakresie 2700, rys. 6. Oznacza to, że dla dwukierunkowych pojazdów są wymagane po dwa sensory na każdą ze stron pojazdu. Obraz skanowania jest podobny do obrazu uzyskiwanego przez radar. W oparciu o odpowiednio opracowany program komputerowy jest możliwe znalezienie naturalnych znaków szczególnych na ociosach. Następnie te odnalezione charakterystyczne punkty są porównywane z wcześniej wykonaną w ten sam sposób mapą, dzięki czemu można określić absolutną pozycję pojazdu. Technika ta jednak wymaga niezwykle dużej mocy obliczeniowej wykorzystywanego komputera i jak dotąd jest stosowana z innymi metodami nawigacji.



Rys. 7. Nawigacja położenia pojazdu z wykorzystaniem optycznej detekcji położenia [1, 2]



Rys. 8. Graficzne przedstawienie wykorzystania promienia lasera do dokładnego pozycjonowania ławety wiertniczej (u góry) i widok ekranu operatora wiertnicy (u dołu) [7]



Rys. 9. Umieszczenie anten nadawczo-odbiorczych oraz czujników GPS na wiertnicy odkrywkowej [5]

Zaletą takiego rozwiązania jest brak konieczności stosowania dodatkowych znaków na ociosach, np. zwierciadeł laserowych. Wadą ze zrozumiałych względów jest wysoka cena, złożoność technologii budowy sensora i oczywiście brak jak dotąd dostatecznie dużego doświadczenia w zastosowaniach w kopalni.

4.3. Nawigacja podążania pojazdu za pozostawionymi śladami

Z logicznego punktu widzenia o wiele prostszym sposobem jest podążanie maszyny za pozostawionymi śladami. O ten punkt widzenia oparta jest zasada ciągłego sterowania jazdą samojezdnych maszyn, rys. 7, gdzie pojazd podąża za znakami umieszczonymi w stropie chodnika i odbijającymi emitowane przez reflektory pojazdu światło rejestrowane w sposób ciągły przez dwie kamery lub sensory pracujące w obszarze światła widzialnego i analizujące pozycje tych znaków względem pojazdu. W ten sposób system automatycznego poruszania się pojazdu podąża za znakami.

5. Nawigacja na powierzchni ziemi (wiertnice)

Nawigacja z wykorzystaniem globalnego systemu GPS (*Global Positioning System*) jest dzisiaj codziennością w transporcie morskim, lądowym i lotniczym. Aby jednak mogła zostać zaadaptowana na potrzeby wiertaczy w kopalniach odkrywkowych musiała ulec znacznej modyfikacji co do częstotliwości wykonywanych pomiarów, ale przede wszystkim co do dokładności. Dotyczy to konieczności uzyskiwania podczas wierceń siatki bardzo równoległych otworów, co w sposób podstawowy eliminuje powstawanie podczas wybuchu MW brył nadwymiarowych, rys. 8.

Wprowadzony system RTK GPS (*Real Time Kinematics GPS*) pozwala uzyskać koordynaty X-Y położenia linii wiercenia z dokładnością 10 cm. System RTK GPS został zaimportowany z dziedziny obsługi maszyn drogowych i nazwany HNS (*Hole Navigation System*) [3, 7]. System ten, rys. 9, wykorzystuje informacje z satelitów z dwóch niezależnych systemów GPS. Główna antena zamontowana jest na szczycie ławety wiertniczej i pełni rolę ruchomej bazy systemu. Druga z anten zamontowana na tyle ramy wiertnicy jest uzupełnieniem systemu i pełni rolę jakkolwiek podrzędną, ale istotną. Sygnały z obu systemów przekazywane są bazy radiowej, tam są przetwarzane i wysyłane do systemu nawigacji w wiertnicy.

System ten umożliwi nie tylko dokładne równoległe wiercenie otworów, ale również profilowanie samego spągu, którego kształt ma dużą szansę powstać po odstrzale właściwie rozmieszczonych ładunków MW i być zgodnym z założeniami.

6. Kierunki prac rozwojowych w dziedzinie monitoringu maszyn samojezdnych w kopalniach LGOM

Motorem działań w obszarze wykorzystania maszyn i urządzeń związanych z wydobywaniem rud miedzi w kopalniach LGOM jest w związku z pogarszającymi warunkami eksploatacji konieczność obniżki kosztów związanych z ich eksploatacją i serwisowaniem. Aby to osiągnąć sprecyzowano wiodące kierunki intensyfikacji działań takich jak:

- zwiększenie trwałości maszyn, urządzeń i części;
- uzyskiwanie możliwie pełnej informacji o parametrach eksploatacyjnych poszczególnych zespołów roboczych;
- ograniczenie przestoju maszyn poprzez sygnalizację stanu ich zagrożenia eksploatacyjnego;
- zastosowanie bezpiecznych, ergonomicznych i klimatyzowanych kabin dla operatorów;
- zmniejszenie emisji spalin i ciepła emitowanych przez zespoły robocze maszyny a w szczególności zastosowanie układów hydraulicznych emitujących minimalne ilości ciepła;

- uzyskiwanie informacji wyprzedzających a sugerujących możliwość wystąpienia awarii w maszynie (stan katastrofального zużycia).

Oferowane i stosowane w maszynach DFM ZANAM-Legmet systemy dotyczą nie tylko transmisji, rejestracji i obróbki danych przesyłanych wspomnianą już magistralą CAN, ale umożliwiają tworzenie programów do sterowania i komunikacji pomiędzy wszystkimi elementami systemu [21]. Jako że sercem systemu każdej z maszyn roboczych jest jej silnik, właśnie jemu poświęcana jest największa uwaga, zwłaszcza, że współcześni liczący się na świecie wytwórcy tych silników oferują produkty umożliwiające nie tylko elementarny monitoring podstawowych parametrów ich pracy, takich jak:

- obroty silnika spalinowego;
- jego moment obrotowy;
- liczba motogodzin pracy silnika,

ale również pomiar i rejestrację bardziej subtelnych parametrów jego pracy.

Stosowana technologia wydobywania rudy sposobem komorowo-filarowym w połączeniu z niezwykle złożonymi górniczo-geologicznymi warunkami jej zalegania niezwykle wysoko stawiają poprzeczkę dla wprowadzanych nowinek technicznych, dla których podstawowym kryterium jest zwiększona trwałość i niezawodność poprawiające bezpieczeństwo pracy górników.

7. Podsumowanie

Ze zrozumiałych względów w artykule omówiono tylko zasady kilku z całej gamy stosowanych dzisiaj rozwiązań technicznych umożliwiających autonomiczną lub prawie autonomiczną pracę maszyn samojezdnych w kopalniach.

Szczególny nacisk położono na nawigację tych maszyn, która jest kluczem do sukcesu w przyszłości związanego z robotyzacją wydobywania kopalni.

Literatura

- [1] APPELGREN J.: *Remote control and navigation systems*. Underground Mining Equipment. Talking Technically. Product Specification. Atlas Copco. First Edition, s. 71–74.
- [2] APPELGREN J.: *Remote control and navigation systems*. „Mining & Construction” 2003, nr 2, s. 16–19.
- [3] APPELGREN J.: *The IREDES Initiative*. Face Drilling. Talking Technically. Case Studies. Machine Specification. Atlas Copco. First Editio, s. 11–12.
- [4] Atlas Copco Polska Sp. z o.o.: *Test Automatyki na „żywo”*. *Przebłyki przyszłości w kopalni Kemi*. „Mining & Construction”, 2008, nr 1, s. 9.
- [5] Atlas Copco: *SMARTRIG Handbook*. Prezentacja [niepublikowane].
- [6] EKLIND M.: *Automated Long Hole Drilling*. Underground Mining Equipment. Talking Technically. Product Specification. Atlas Copco. First Edition, s. 39–45.
- [7] ELSRUD L.: *RSC Rig Control System*. Face Drilling. Talking Technically. Case Studies. Machine Specification. Atlas Copco. First Edition, s. 51–53.
- [8] ELSRUD L.: *Measure While Drilling*. Underground Mining Equipment. Talking Technically. Product Specification. Atlas Copco. First Editio, s. 9–10.
- [9] MARIANOWSKI J.: *Słów kilka o istocie pracy przekładni hydrostatycznej napędu jazdy wozu wiertniczego*. Konferencja Naukowo-Techniczna. Działalność Zakładu Doświadczalnego Kombinatów Górniczo-Hutniczych Miedzi i INOVA Centrum Innowacji Technicznych Sp. z o.o. w latach 1965–2005. Materiały konferencyjne. Lubin, 15 lutego 2005, INOVA Centrum Innowacji Technicznych Sp. z o.o., s. 147–155.
- [10] MARIANOWSKI J.: *O skutkach poprawiania High Technology w elektrohydraulicznych układach sterowania pracą samojezdnych wozów wiertniczych*. Konferencja Naukowo-Techniczna Napędy i sterowania hydrauliczne 2002: Stan, potrzeby, oczekiwania, możliwości. Wrocław, 22–24 maja 2002, SITMP, Ośrodek Doskonalenia Kadr SIMP, s.104–108.
- [11] MARIANOWSKI J.: *Podstawy zasilania i sterowania pracą hydraulicznych wiertarek obrotowo-udarowych*. Praca zbiorowa: monografia. Instytut Techniki Górniczej KOMAG – Gliwice 2009, s. 183–196.
- [12] MARIANOWSKI J.: *Układy hydrauliczne ładowarek tyżkowych eksploatowanych w kopalniach*. „Hydraulika i Pneumatyka”, 2009, R. 29, nr 5, s. 5–11.
- [13] MARIANOWSKI J.: *Zasilanie i sterowanie pracą hydraulicznej wiertarki obrotowo-udarowej z wykorzystaniem układu LS*. „Maszyny Górnicze”, 2009, R. 27, nr 4, s. 38–45.
- [14] MARIANOWSKI J.: *Zasilanie i sterowanie pracą hydraulicznych wiertarek obrotowo-udarowych*. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna: Krajowy sektor w warunkach turbulentnego rynku. Wrocław, 7–9 października 2009, SITMP, Ośrodek Doskonalenia Kadr SIMP, s. 370–381.
- [15] MARIANOWSKI J., GAJDA M., KOŁODZIEJ M.: *Innowacje w budowie układów napędowych ładowarek tyżkowych pracujących pod ziemią*. Nowoczesne metody eksploatacji węgla i skał zwięzłych. Monografia. TUR 2007, s. 419–431.
- [16] [http://www.Sandvik Mining and Construction-Equipment, Tools, and Services for Mining and Construction. Media Archive. Sandvik Mining. Products. Mine automation system \(0832114\).](http://www.Sandvik Mining and Construction-Equipment, Tools, and Services for Mining and Construction. Media Archive. Sandvik Mining. Products. Mine automation system (0832114).)
- [17] [http://www.Sandvik Mining and Construction-Equipment, Tools, and Services for Mining and Construction. Media Archive. Sandvik Mining. Products. Mine automation system \(1033136\).](http://www.Sandvik Mining and Construction-Equipment, Tools, and Services for Mining and Construction. Media Archive. Sandvik Mining. Products. Mine automation system (1033136).)
- [18] [http://www.Sandvik Mining and Construction-Equipment, Tools, and Services for Mining and Construction. Media Archive. Sandvik Mining. Products. Mine automation system \(630382\).](http://www.Sandvik Mining and Construction-Equipment, Tools, and Services for Mining and Construction. Media Archive. Sandvik Mining. Products. Mine automation system (630382).)
- [19] [http://www.Sandvik Mining and Construction-Equipment, Tools, and Services for Mining and Construction. Media Archive. Sandvik Mining. Products. Mine automation system \(0832040\).](http://www.Sandvik Mining and Construction-Equipment, Tools, and Services for Mining and Construction. Media Archive. Sandvik Mining. Products. Mine automation system (0832040).)
- [20] [http://www.Sandvik Mining and Construction-Equipment, Tools, and Services for Mining and Construction. Media Archive. Sandvik Mining. Products. Mine automation system \(0832045\).](http://www.Sandvik Mining and Construction-Equipment, Tools, and Services for Mining and Construction. Media Archive. Sandvik Mining. Products. Mine automation system (0832045).)
- [21] TARNAWCZYK B.: *Kierunki rozwoju funkcjonalnego samojezdnych maszyn górniczych DFM ZANAM-LEGMET*. Konferencja Naukowo-Techniczna: Innowacyjne Maszyny i Technologie – Innowacyjność. „Napędy i Sterowanie” 24–25.01.2012. Hotel Orle Gniazdo – Szczyrk.

dr inż. Jan Marianowski – Katedra Maszyn Górniczych, Przerobczych i Transportowych Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, tel./fax 12-633 51 62; e-mail: janmar@agh.edu.pl