

PILBARA – ZAGŁĘBIE, W KTÓRYM POWSTAJE GÓRNICZY SYSTEM MECHANIZACYJNY PRZYSZŁOŚCI

PILBARA – THE MINING REGION WHERE A MECHANISED SYSTEM OF THE FUTURE COMES INTO BEING

Jacek M. Czaplicki – Instytut Mechanizacji Górnictwa, Politechnika Śląska, Gliwice

W ostatnich latach, w górnictwie światowym, można zaobserwować pojawianie się rozwiązań mechanizacyjnych, w których stosowane jest zdalne sterowanie maszynami. W drugiej połowie ubiegłego wieku zaczęły się pojawiać zdalnie sterowane pojedyncze maszyny. Na początku XXI wieku są stosowane zdalnie sterowane systemy maszynowe. Dwa pierwsze z nich zaczęły eksploatację w górnictwie podziemnym. Pierwszą kopalnią z niedużym, sterowanym z powierzchni systemem była kopalnia diamentów Finsch w Południowej Afryce. Drugi, nieco większy system maszynowy zdalnie sterowany powstał kilka lat później, też w kopalni diamentów, w zakładzie górniczym Argyl w Australii. Na początku drugiej dekady obecnego stulecia zaczęto stosować zdalnie sterowane wozidła użytkowane w wielkim zagłębiu rudy żelaza Pilbara w północno-zachodniej Australii. W artykule opisano ten system i pokazano tendencje rozwojowe zdalnie sterowanych systemów maszynowych. Opisano także prace, jakie podjęto, aby sterować zdalnie ruchem pociągów obsługujących kopalnie pracujące w tym zagłębiu.

Słowa kluczowe: Zagłębie Pilbara, inteligentna kopalnia, zdalne sterowanie, system BOTS

Recently a new solution has occurred in mechanised systems applied in mines – remotely controlled machines. In the second part of previous century individual pieces of equipment have been remotely controlled. In our century in turn whole systems operating automatically come into being. Primarily, two systems appeared, both operating in underground diamond mines. First system in Finsch South African mine, second one in Argyl Australian mine. At the beginning of current decade off-highway trucks remotely controlled are utilized in Pilbara iron ore region in north-west Australia. In this paper the system which is engaged in remote controlled operation of huge haulers is discussed together with description of works which aim is automatic control of operation of trains running between mines and ports where iron ore leaves Australian continent going mainly to China and Japan.

Keywords: Pilbara region, intelligent mine, remote control, BOTS

Wprowadzenie

Truizmem jest stwierdzenie, że następuje ciągły rozwój stosowanych metod wydobywczych i systemów mechanizacyjnych w to zaangażowanych. Z tym ciągłym postępem związany jest jeden zasadniczy problem dla ludzi zaangażowanych w inżynierię górniczą – konieczność ciągłego śledzenia zachodzących zmian. I to obojętnie czy pracujemy na uczelni, w firmie produkującej sprzęt dla górnictwa czy jest się inżynierem związanym z zakładem wydobywczym. W dobie obecnej, przy coraz większej globalizacji, w czasach, gdy informacja rozchodzi się błyskawicznie, wypada, wskazane jest czy nawet zalecane, aby znać, wiedzieć, co nowego pojawiło się na rynku oferowanych rozwiązań mechanizacyjnych, technologicznych czy w zakresie opracowanych nowych metod wydobywczych. Ta informacja jest ważna i ma swoje wymierne znaczenie.

Rozwój, o którym mowa, nie jest równomierny i odbywa się w różnych obszarach, w różnych okresach z różną inten-

sywnością. Przykładem spektakularnego rozwoju w obszarze maszyn dla górnictwa był rozwój konstrukcji dużych wozów oponowych odstawczych, który odbywał się przez kilkadziesiąt lat do końca XX wieku. Wymiary geometryczne maszyn ustawicznie rosły, udźwig użyteczny również i wyposażenie jednostek było na coraz to wyższym poziomie. Pojawiły się czujniki parkowania i kamery parkowania, zastosowano klimatyzację kabiny kierowcy i jej wyciszenie, coraz więcej istotnych zespołów wozów było wyposażonych w sensory wskazujące ich stan techniczny, pojawiły się autonomiczne systemy diagnostyczne, doskonalili się metody porozumiewania z centrum sterowania systemem maszynowym, wprowadzono system GPS dla dokładnego pozycjonowania maszyn, jak również systemy hybrydowe - lokalne, kopalniane, pozycjonowanie jednostek połączone z systemem GPS itd. W połowie lat osiemdziesiątych pojawiła się praca Walkera [5], w której prognozowano, że pod koniec XXI wieku powinny w górnictwie pojawić się wozidła o udźwigu użytecznym 900 t.¹ Głównym czynnikiem

¹ Biorąc pod uwagę, że w tym czasie zaczynały pracę wywrotki 180 t, a kilkanaście lat później już 363 t, okres prognozowany należałoby skrócić o połowę

generującym ten rozwój była prawidłowość, że wraz ze wzrostem udźwigu użytecznego jednostkowa cena odstawy maleje. Ponadto koszty operacyjne dla dużych jednostek są nieco niższe aniżeli dla mniejszych. W latach trzydziestych ubiegłego wieku stosowane były wywrotki o pojemności skrzyni wynoszącej kilka m³. W latach pięćdziesiątych udźwig użyteczny tego typu maszyn wynosił ok. 50 ton przy mocy silnika ponad 300 kW. Czterdzieści lat później były w eksploatacji wywrotki o udźwigu użytecznym ok. 200 ton i mocy silnika przekraczającej nieco 1000 kW. W 2014 roku są stosowane wozidła o udźwigu 363 ton, o mocy silników zbliżającej się do 4000 kW, a zaczynają się pojawiać jednostki o udźwigu ok. 450 ton. Sukcesywnie spada iloraz masy martwej wozidła do jego masy użytecznej.

Udział górnictwa powierzchniowego w ogólnym produkcie górnictwa światowego, licząc w tonach masy urobku, plasuje się na poziomie 90% od lat; z wahaniami w czasie wynoszącymi kilka procent in plus bądź in minus. Systemy mechanizacyjne w postaci podstawowego systemu ładująco-odstawczego typu koparki-wywrotki stanowią ok. 60% ogólnej liczby systemów stosowanych w górnictwie powierzchniowym. Wniosek stąd, że system ten jest systemem najczęściej stosowanym w całym górnictwie światowym. Niestety, użytkowanie wozideł ma wiele niekorzystnych cech. Jest to system drogi w zakupie i drogi w użytkowaniu. Połowę drogi maszyna jedzie pusta, ok. 60% energii zużywa, aby się poruszać, a ok. 40% zużywa na przemieszczanie masy użytecznej. System generuje spaliny, zużywa ogromne ilości paliwa (szczytowo nawet 450 l/h), średnia szybkość wozidła w czasie jego cyklu pracy jest nieduża; wozidło o całkowitej masie ok. 600 t wyjeżdża z wyrobiska stożkowego z szybkością ok. 10 km/h, mniejsze jednostki jadą szybciej. Wozidła mają na ogół przeciętną niezawodność², a obsługi (naprawy, przeglądy) są bardzo czasochłonne i pracochłonne. Wszystko to sprawia, że koszty odstawy w tego typu systemach stanowią ok. 60% lub nieco więcej wszystkich kosztów kopalni. Od lat użytkownicy systemów wozideł marzą o jakichkolwiek rozwiązaniach pozwalających zredukować te ogromne koszty. Dwa rozwiązania mechanizacyjne z tego zakresu, które pojawiły się w międzyczasie, nie spełniły oczekiwań eksploatorów. Jednym z nich było zastosowanie systemu wspomagania w postaci elektrycznego zasilania wywrotki z drutu jezdnego na głównej pochylni wyjazdowej z wyrobiska (tzw. system *trolley assist*). Opłacalność tego rozwiązania zależy silnie od relacji ceny paliwa i ceny energii elektrycznej w danym kraju, a ponadto ta relacja może zmienić się w relatywnie krótkim czasie, czego przykładem może być Południowa Afryka. Praktycznie, zakres zastosowania systemów *trolley assist* nie jest duży. Inną propozycją był i chyba nadal jest system TruckLift – zastosowanie wyciągu pochyłego do wywożenia pełnych wozideł z wyrobiska. Mimo, iż system ten był oferowany przez renomowaną niemiecką firmę produkującą różnoraki sprzęt dla górnictwa od wielu lat, nie znalazł on zainteresowania u eksploatorów. Obecnie, inna oferta kolejnego niemieckiego producenta przedstawiona na wystawie BAUMA w Monachium w kwietniu 2016 roku wydaje się być bardziej trafiona aniżeli oferta w postaci TruckLift.

Celem niniejszego artykułu jest zaprezentowanie najnowszych rozwiązań w obszarze nowoczesnych systemów mechanizacyjnych górnictwa powierzchniowego, które wpisują się w

koncepcję sformułowanej nie tak dawno kopalni przyszłości – inteligentnego zakładu wydobywczego. Pod tym pojęciem rozumie się kopalnię, w której rozbudowany kompleksowo system diagnostyczny podaje potężną ilość informacji o całej kopalni, a o stanie systemu mechanizacyjnego i jego poszczególnych elementach w szczególności, odpowiednio zaprogramowany system komputerowy na bieżąco przetwarza te informacje, magazynuje, przesyła do wybranych punktów i wyświetla na monitorach. Ta informacja stanowi podstawę do podejmowania coraz bardziej trafnych decyzji eksploacyjnych. Co więcej, sterowanie urządzeniami pracującymi na kopalni odbywa się w znacznej mierze w sposób automatyczny, zdalnie. W niniejszej pracy opisane jest, co zostało dotychczas zastosowane w praktyce z tej koncepcji, w odniesieniu do maszyn pracujących na kopalniach i jakie są plany na najbliższą przyszłość.

Zagłębie Pilbara

W literaturze górniczej czasami używany termin *kopalnie Pilbara*, lecz nazwa tu użyta jest niepoprawna. Pilbara to *de facto* bardzo obszerny rejon obejmujący nieco ponad 500 000 km², w którym znajduje się obecnie 26 kopalń wydobywających rudę żelaza (rys. 1).

Złoża rudy w tym rejonie są typu pokładowego zalegające poziomo lub pod niedużym nachyleniem. To rozróżnienie w sensie geometrycznym ma wpływ na budowane wyrobiska eksploacyjne. W przypadku zalegania poziomego złoża lub prawie poziomego buduje się odkrywkę szerokie [1]; wyrobiska podobne do tych, jakie znamy z naszych polskich zagłębi węgla brunatnego. Jeżeli nachylenie pokładu jest większe, wówczas budowane są wyrobiska typu stożkowego, przy czym głębokość wyrobisk jak na razie nie jest duża.

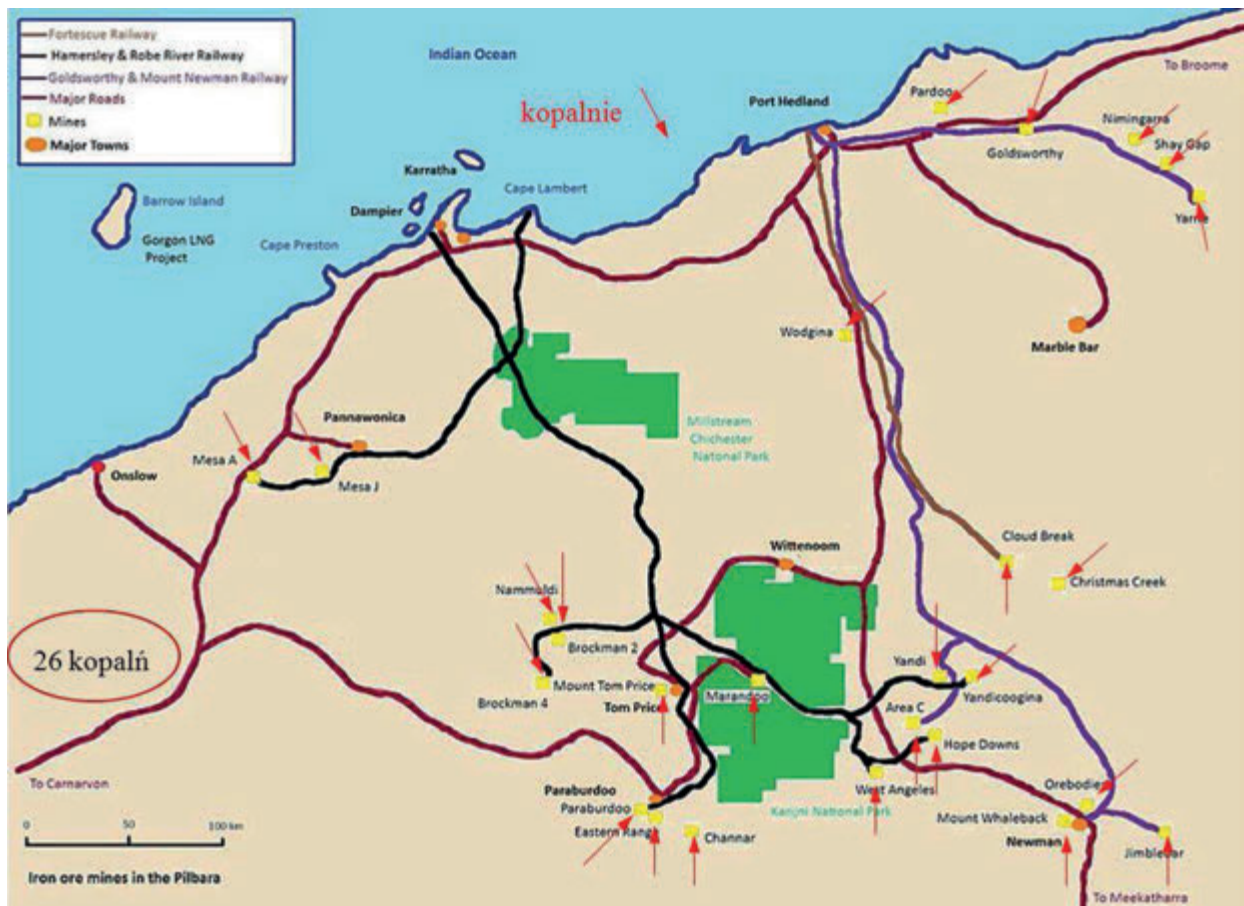
Z uwagi na fakt, iż złoża są typu pokładowego i są to niezbyt twarde utwory geologiczne, więc urabianie jest w znacznej mierze realizowane mechaniczne. Utwory te są jednakże na tyle trudne do urabiania, że zastosowanie koparek wielonaczyniowych jest niewielkie; tylko w kilku wyrobiskach. Podstawowymi maszynami urabiającymi są kombajny górnictwa powierzchniowego wspomagane w niektórych przypadkach kombajnami kruszącymi typu *leveler* (rys. 2). Przy większych nachyleniach stosowane są spycharko-zrywarki. Czasami prowadzone jest wiercenie i strzelanie; na ogół pomocniczo.

Ładowanie urobku jest realizowane albo przez zespoły ładujące będące na wyposażeniu kombajnów albo maszynami łyżkowymi: koparkami, rzadziej ładowarkami oponowymi.

Pierwszymi maszynami odstawczymi są wywrotki (rys. 3) rzadziej pociągi oponowe (rys. 4). Wozidła transportują urobek na niewielkie odległości rzędu kilku kilometrów, bo taki jest ich ekonomicznie uzasadniony zasięg działania. Jeżeli urobkiem jest pokruszona skała płonna, to odstawiana jest ona albo na zwałowisko albo lokowana do wyeksploatowanej części kopalni. Jeżeli urobkiem jest kopalina użyteczna to transportowana jest na składowisko pobliskiej stacji kolejowej. Zasięg transportu pociągów oponowych jest dłuższy aniżeli wozideł i może wynosić nawet do 20 km.

W przypadku zastosowania koparki wielonaczyniowej kołowej (rys. 5) odstawa urobionej kopaliny jest typu ciągłego systemem przenośnikowym do pobliskiej stacji kolejowej.

² Są wozidła renomowanych światowych producentów, których współczynnik gotowości przekracza 0,8; są także jednostki, których współczynnik ledwo przekracza 0,6. Niezawodność maszyn ma silny wpływ na ich cenę



Rys. 1. Zagłębie Pilbara, północno-zachodnia Australia
Fig. 1. Pilbara region, North-West Australia

Dominującym rodzajem transportu dalekiego jest odstawa kolejowa.³ Szacuje się, że tym środkiem transportowym jest przewożonych dwieście kilkadziesiąt mln ton rudy rocznie;

głównie do portów Dampier, Cape Lambert i Headland, gdzie jest ona ładowana na statki. Głównymi odbiorcami są Chiny i Japonia. Każdy skład pociągu ma do 236 wagonów, każdy o ładowności ok. 106 t. Pociąg ma ok. 2,4 km długości i wiezie ok. 30 000 ton rudy (rys. 6). Średni czas cyklu pociągu to niecałe 30 godzin [2].



Rys. 2. Kombajn kruszący
Fig. 2. Leveler



Rys. 3. Kombajn górnictwa powierzchniowego podający urobek na wozidło
Fig. 3. Surface continuous miner loading onto off-highway truck

Elementy kopalni jutra

Od lat najwięksi producenci wozideł pracowali nad systemem zdalnego sterowania wywrotkami. Zdarzeniem, które wywarło wpływ na decyzję, aby podjąć testowanie zdalnego sterowania w rzeczywistych warunkach kopalnianych, było zastosowanie z sukcesem w 2005 roku sterowanego zdalnie systemu załadunku i odstawy urobku w podziemnej kopalni diamentów Finsch, w Południowej Afryce. System nie jest duży; składa się z jednej maszyny ładująco-odstawczej typu LHD i



Rys. 4. Pociąg oponowy w zagłębiu Pilbara
Fig. 4. Road train, Pilbara region

³ W Indonezji w odstawie węgla kamiennego w niektórych rejonach wykorzystywany jest transport urobku na dalsze odległości drogą wodną



Rys. 5. Koparka kołowa i system przenośnikowy w zagłębiu Pilbara
Fig. 5. Bucket Wheel Excavator operating in Pilbara region



Rys. 6. Pociąg transportujący rudę
Fig. 6. Pilbara train

siedmiu wozów oponowych odstawczych typu Toro. Także podjęte prace nad zastosowaniem drugiego zdalnie sterowanego systemu mechanizacyjnego w podziemnej części kopalni diamentów Argyl, w centralnej północnej Australii stwarzały pozytywny klimat dla podjęcia prób na szerszą skalę w górnictwie powierzchniowym. System australijski to 13 wozów ładująco-odstawczych transportujących odstrzeloną skałę do dwóch kruszarek zlokalizowanych w podziemiach. Pokruszony urobek podawany jest na przenośniki taśmowe odstawiające go na powierzchnię.

Firmy, których prace w zakresie zdalnego sterowania wozidłami były i są najbardziej zaawansowane, to Komatsu i Caterpillar.

Pierwsze próby sterowania zdalnego pracą wielkich

oponowych Komatsu wozów odstawczych miały miejsce na początku obecnego stulecia w jednej z kopalń zagłębia Pilbara. Podstawową, ważną cechą wyrobisk w tym rejonie jest to, że ich drogi transportowe są poziome lub o niewielkim kącie nachylenia. Ponadto jest wystarczająco dużo miejsca dla swobodnego manewrowania jednostkami transportowymi. Takie warunki pozwalają na sterowanie wywrotkami bez wielkiej presji ograniczonego miejsca i czasu przejazdu, jak to ma miejsce, gdy sterowanie wozidłami miałyby się odbywać w głębokich wyrobiskach kopalń rud miedzi czy diamentów.

Firma, która pierwsza zdecydowała się na wykorzystanie zdalnego sterowania wozidłami, to Rio Tinto, brytyjsko-australijski koncern wydobywczy, trzeci pod względem wielkości na świecie i największy pod względem wydobycia rudy żelaza w



Rys. 7. Zdalnie sterowane wozidła pracujące w kopalniach zagłębia Pilbara, Australia (E&MJ)
Fig. 7. Remotely controlled Komatsu off-highway trucks in Pilbara, Australia (E&MJ)

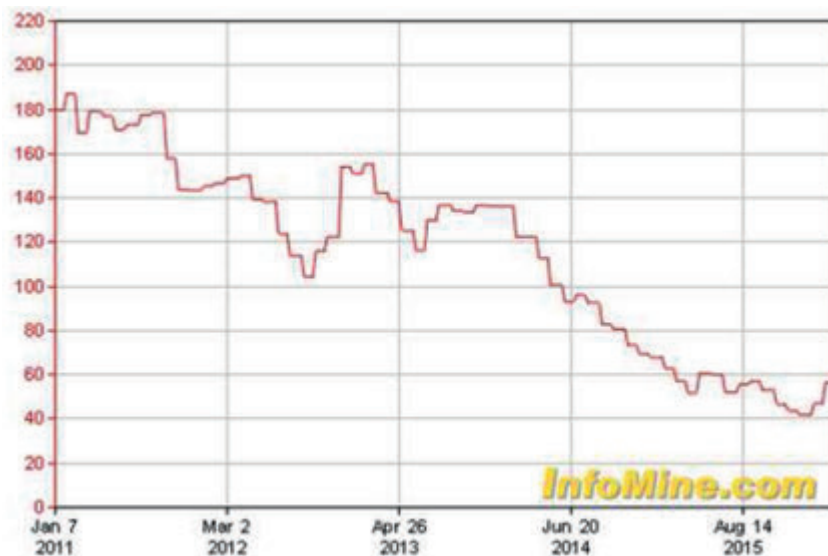
Australii. Pierwsze testy kopalniane wypadły pomyślnie i na początku 2013 roku firma ogłosiła plany zamiany 1/3 liczby pracujących wozideł na jednostki zdalnie sterowane. Planowano – i w znacznej mierze się to udało – że na koniec 2015 roku w eksploatacji powinno być 150 wozideł tego producenta pracujących w wielu zakładach wydobywczych zagłębia Pilbara. Na rysunku 7 widać zdalnie sterowane wywrotki pracujące w tym rejonie.

Sam system zdalnego sterowania – AHS (*Autonomous Haulage System*), został zbudowany w 2012 roku i jest zlokalizowany w Centrum Operacyjnym w Perth. Koszt systemu wyniósł 6 mln USD. Najważniejszym jego elementem jest w pełni wiarygodna informacja w każdym momencie czasu o dokładnej pozycji każdej jednostki systemu mechanizacyjnego. Wykorzystany jest lokalny system radarów, laserowych sensorów i GPS. Jest możliwość natychmiastowego zatrzymania każdego wozidla w przypadku, gdy jego przejazd nie odbywa się zgodnie z harmonogramem. System w przyszłości ma objąć 14 kopalń, 3 porty i dwie linie kolejowe. Z końcem 2014 roku zdalne sterowanie zostało wprowadzone w dwóch kopalniach: Yanicoogina⁴ i West Angeles. System 290 tonowych wywrotek jest sterowany 24 h/dobę przez system AHS, który jest zlokalizowany ok. 1000 km od tych kopalń. Wydobyte w tych zakładach górniczych kształtuje się na poziomie 6500 t/godz.

Podjęto także prace nad wprowadzeniem bezzałogowego ruchu pociągów przewożących rudę do portów Oceanu Indyj-

skiego. Ten system transportu oznaczono skrótowo jako BOTS (*Bulk Ore Transportation System*). Wykonawca utrzymuje, że jest on rozwiązaniem proekologicznym. Nie niszczy naturalnych siedlisk fauny i flory oraz nie narusza istniejącej sieci infrastruktury. Innowacyjny kształt wagonów ma umożliwić szybszy załadunek i rozładunek. BOTS będzie również rozwiązaniem tańszym od obecnie stosowanych lokomotyw z hybrydowym układem napędowym. Całkowity koszt tych prac oszacowano na 353 mln USD i tu również oczekuje się, że zostaną one sfinalizowane do końca 2016 roku. Koncern Rio Tinto zakłada, że dzięki tym przedsięwzięciom będzie wiodącą jednostką, jeżeli chodzi o nowoczesność, proekologiczność i ekonomiczność procesów mechanizacyjnych w tym obszarze górnictwa powierzchniowego. Wprowadzenie zdalnego, bezzałogowego systemu mechanizacyjnego ma w Australii duże znaczenie, gdyż kraj ten odczuwa od dawna brak odpowiednio licznej, wysoko wykwalifikowanej kadry; nie tylko w górnictwie⁵, choć sytuacja w tym względzie zmienia się w ostatnim czasie. Spadki cen niektórych surowców mineralnych na świecie spowodowały, że w Australii tylko w 2013 roku ok. 12 tysięcy ludzi odeszło z górnictwa. Także planowane inwestycje w Zagłębiu Pilbara (podwojenie wydobycia) można uznać za zagrożone patrząc na wykres przedstawiający kształtowanie się ceny rudy żelaza na rynku światowym w ostatnich latach (rys. 8).

Konkurencyjne koncerny produkujące wozidla nie pozostają bierne.



Rys. 8. Cena rudy żelaza USD/t na rynku światowym w latach 2011 – 2015 (<http://www.infomine.com/investment/metal-prices/iron-ore/>)

Fig. 8. Iron ore prices on the world market in 2011 – 2015



Rys. 9. Zdalnie sterowane wozidła firmy Caterpillar pracujące w kopalni Solomon (*E&MJ*)

Fig. 9. Remotely controlled off-highway Caterpillar trucks in the Solomon mine (*E&MJ*)

⁴ Kopalnia ta, jako pierwsza w Australii, wydobywa 50 mln ton rudy rocznie

⁵ Australia do niedawna zgłaszała w mediach światowych ofertę zatrudnienia wykwalifikowanej kadry górniczej, mimo znacznego przyływu doświadczonych kadry z Południowej Afryki. Szacuje się, że wiele tysięcy inżynierów górnictwa z Południowej Afryki przeprowadziło się do Australii głównie na początku obecnego wieku

BHP Billiton, największy na świecie koncern wydobywczy⁶ niedawno ogłosił, że wprowadza pilotażowo kilkanaście wozideł firmy Caterpillar, które będą zdalnie sterowane i będą pracować w nowej kopalni zagłębia Pilbara – Jimblebar.

Również Fortescue Metals Group Ltd – australijskie przedsiębiorstwo związane z wydobywaniem rudy żelaza - ogłosiło ([3], Mining Engineering SME vol. 65, No. 11, 2013), że współpracując z firmą Caterpillar zdecydowano się w 2012 roku na wprowadzenie do eksploatacji systemu Cat MineStar w kopalni rudy żelaza Solomon. Następnym krokiem było rozszerzenie tego systemu na kopalnię King's Mine w drugiej połowie 2013 roku. System zdalnego sterowania objął eksploatację 45 wozideł wyprodukowanych przez firmę Caterpillar. Planuje się, iż system ten będzie rozbudowywany. Na rysunku 9 widać dwa wozidła firmy Caterpillar eksploatowane w kopalni Solomon.

Zalety zdalnego sterowania systemem mechanizacyjnym

W perspektywie najbliższych lat zdalne sterowanie ma objąć przede wszystkim najważniejsze elementy systemu odstawy urobku: oponowe wozy odstawcze i pociągi. Mówi się o zdalnym sterowaniu systemami składowania urobku i powtórnego ładowania urobku. Dotyczyć ma to kolejowych stacji załadunkowych i portów.

Najważniejsze korzyści z zastosowania systemu zdalnego sterowania oponowymi wozami odstawczymi są następujące:

- (a) wzrost stopnia wykorzystania wozów o ok. 5%,
- (b) wzrost średniej szybkości przejazdu maszyn w ramach bezpiecznej szybkości dozwolonej, do ok. 50 km/h,
- (c) lepsze wykorzystanie maszyn,
- (d) wzrost średniej trwałości opon (+7000 h),
- (e) zredukowana liczba operatorów w systemie mechanizacyjnym, a zatem koszty eksploatacji systemu niższe,
- (f) ogólny wzrost bezpieczeństwa eksploatacji systemu mechanizacyjnego; mniejsza średnia liczba wypadków drogowych z udziałem wozów.

Patrząc na powyższą listę warto zwrócić uwagę na trzy wyżej wymienione punkty: (c) i (f) oraz (d).

Każdy operator, mimo, że przeszedł takie samo przeszkolenie, co jego koledzy, jest indywidualną jednostką. Ma swoją psychikę odmienną od kolegów, swój system nerwowy, swoje przyzwyczajenia, sposoby reagowania itd. Oznacza to, że każdy operator wozu będzie jeździł nieco inaczej. Niektórzy operatorzy będą mieli tzw. „ciężką nogę”, jeżeli chodzi o użycie hamulców czy użycie pedału przyspieszenia. Jedni będą jeździli „na styk”, inni zachowując większy dystans pomiędzy maszynami. Itp. Stąd wykorzystanie wozu, który prowadzi dany operator będzie nieco inne aniżeli wykorzystanie maszyny kolegi. W przypadku zdalnego sterowania te różnice niwelują się. Poza tym, operator, który prowadzi maszynę pod koniec zmiany⁷ jest zmęczony, reaguje na sytuacje na drodze nieco wolniej i mniej pewnie aniżeli na początku zmiany. I znów, w przypadku zdalnego sterowania taki przypadek nie zachodzi. Wszystko to składa się na to, że jest większe bezpieczeństwo pracy i efektywność eksploatacji systemu mechanizacyjnego jest wyższa.

Wzrost trwałości opon ma bardzo duże znaczenie. Obecnie, cena najlepszej opony dla największych wozideł to ok. 62 500 USD. Łatwo zatem policzyć koszt zakupu nowego kompletu opon dla systemu wozideł pracujących na danej kopalni. Posiadając odpowiednią liczbę opon dla eksploatowanego systemu wozideł na kopalni musimy posiadać odpowiednio duży magazyn, aby je składować. Kopalnia musi także posiadać magazyn do tymczasowego składowania zużytych opon.

Niewątpliwą zaletą dróg transportowych w tym zagłębiu jest, iż ich nawierzchnia nie oddziałuje agresywnie na bieżnik, jak to ma miejsce np. na drogach transportowych w wyrobiskach stożkowych skał twardych. Można więc ocenić, że trwałość opon powinna być zadowalająca, choć niewątpliwie koszt ogumienia jest znaczny.

Literatura

- [1] Czaplicki J. M.: *Mechanizacja w górnictwie okruchowym i skalnym. Kopalnie odkrywkowe złóż pokładowych i rud metalicznych*. Wyd. Pol. Śl., Gliwice 2013
- [2] De Lemos Pires D.: *Surface mining technology: managing the paradigm shift*. Mining Engineering, vol. 65, No. 12, December 2013, s. 36-40
- [3] Fortescue Metals Group moving forward with autonomous mining plans. *Autonomous Mining*. Mining Engineering, vol. 65, No 11, November 2013, s. 43
- [4] <http://www.infomine.com/investment/metal-prices/iron-ore>
- [5] Walker G.: *Behold Behemoth: Toward the 1000 tonne truck*. Symposium on Mining Equipment Selection. Calgary, November 1985

⁶ Firma powstała w 2001 roku po fuzji firmy australijskiej Broken Hill Proprietary Company z brytyjską firmą Billiton. Kapitalizacja rynkowa spółki w sierpniu 2007 roku wyniosła 180 miliardów dolarów USD

⁷ W różnych krajach, na różnych kopalniach czas zmiany bywa różny