

Jacek M. CZAPLICKI  
Politechnika Śląska, Gliwice

## AKTUALNE TRENDY ROZWOJOWE SYSTEMU ODSTAWY OPONOWEJ W PODZIEMNYCH ZAKŁADACH GÓRNICZYCH

**Streszczenie.** Praca traktuje o tendencjach rozwojowych, jakie można zaobserwować w odniesieniu do systemu odstawy oponowej górnictwa podziemnego. Zasygnalizowano rozwój parametryczny dużych maszyn transportujących pochylniami urobek na powierzchnię. Odnotowano istotny, choć powolny, postęp w technice baterii akumulatorowych. Największy progres odnotowany został w obszarze automatycznego sterowania systemami: wozy ładująco-odstawcze i wozy odstawcze. Literatura światowa opisywała ostatnio system tego typu, którego automatyczne, zdalne sterowanie wprowadzone zostało w 2005 roku. Po dwóch latach eksploatacji zebrane informacje pozwoliły na dokonanie oceny efektywności pracy systemu. Z danych przedstawionych przez kopalnię wynika, że nastąpiła znaczna, korzystna zmiana nie tylko parametrów określających osiągi systemu, lecz także wzrost bezpieczeństwa realizowanej eksploatacji. Wydaje się zatem, że kolejne prace, idące w kierunku dalszego rozwoju automatyzacji, powinny być kontynuowane.

## ACTUAL TRENDS IN DEVELOPMENT OF TIRE HAULAGE SYSTEMS IN UNDERGROUND MINING

**Summary.** In the paper considerations are orientated on actual trends in progress of tire haulage systems in hard rock underground mining. Development in parameters/dimensions of haulers that execute main haulage task of underground mine transporting rock extracted by a ramp outside of the mine is noticed. Further progress concerning vehicle batteries is also considered but development of the most interest is associated with an implementation of a fully automated haulage system in the South African diamond mine in 2005. After two years of utilization of the system data being in hand allows to evaluate how good the system is. Presented in professional literature report indicates that advantageous changes concerning the exploitation process of the system are clearly visible. Better achievements concern not only basic system parameters but also problem of safety. It looks that further research works in this regard should be directed just towards vast implementation of autonomous systems with higher degree of automation.

## 1. Wprowadzenie

Jak wiadomo, urządzenia transportu poziomego podziemnych zakładów górniczych realizujące proces odstawy urobku podzielić można na trzy grupy, biorąc pod uwagę sposób ich funkcjonowania i stosowane rozwiązanie konstrukcyjne. Są to: przenośniki, wozy oponowe i systemy odstawy szynowej. Każda grupa ma swoje cechy charakterystyczne, zalety i wady, parametry oraz kluczowe właściwości. Wiadomo np., że odstawa kolejowa wymaga drogi transportowej tylko poziomej, abstrahując tutaj od wartości wielkości kryterialnych. Ponadto, odległość transportu ma swoje ograniczenie minimalne, a wielkości odstawianych mas powinny być znaczne. Także w przypadku górnictwa podziemnego przewidywany czas eksploatacji takiego systemu powinien wynosić co najmniej kilka lat. W przypadku górnictwa powierzchniowego zarówno odległość, jak i czas eksploatacji powinny być odpowiednio większe.

Każdy środek transportowy ma swój *ekonomicznie uzasadniony zasięg działania*. Dla przenośników taśmowych wymienia się wartość 70 km; co prawda, najdłuższe tego typu urządzenie – przenośnik taśmowo-linowy – ma „tylko” 51 km długości i pracuje od szeregu lat w południowo-zachodniej Australii. Kolej kopalniana nie ma ograniczenia od góry, jeżeli chodzi o odległość transportową, ma ograniczenie od dołu. Dla wozów oponowych z kolei są to wielkości niewielkie, liczone na ogół w setkach metrów. Wyjątkiem są tutaj wozy oponowe stosowane jako główne jednostki odstawcze z podziemia kopalń pochylnią na powierzchnię. Obecnie stosowane udźwigi użyteczne tych maszyn przekroczyły 100 ton, a zasięg odstawy wynosi kilka kilometrów [4].

Czynnikiem, który w znacznej mierze decyduje o wyborze środka odstawy, są właściwości transportowanego materiału. Wiadomo, że jeżeli transportowany materiał ma szereg niekorzystnych właściwości, takich jak: duże bryły, ostre krawędzie, abrazyjność materiału, duży ciężar własny, to korzystnie jest lokować taki materiał w jakichś „skrzynkach” bądź skrzyniach w zależności od wielkości ziaren. Jeżeli tego typu materiał pokruszony zostanie na drobne ziarna, można zastosować przenośniki, które są środkami transportu o ogromnych zaletach. W kalkulacji ekonomicznej należy jednakże uwzględnić koszt kruszenia.

Jest cechą charakterystyczną podziemnego górnictwa na świecie, że w przypadku eksploatacji złóż rud metalicznych, złota czy diamentów (tzw. *hard rock mining*) urabianie odbywa się metodą strzelniczą i pierwszym środkiem odstawy są wozy oponowe ładująco-

odstawcze (LHD). Wozy te podają urobek na wozy oponowe odstawcze, jeżeli odległość transportowa jest nieduża. W niektórych przypadkach ładują bezpośrednio na wagony dla długiego dystansu transportowego, rzadziej do lejów zasypowych kruszarek. W wielu przypadkach stacje załadunkowe odstawy szynowej są zlokalizowane w pewnej odległości od przodków, które ustawicznie się przemieszczają. Bardzo często środkami transportowymi, które stale pokonują te zmienne odległości transportowe, jest para: wóz ładująco-odstawczy – wóz odstawczy. Odnotujmy tutaj, na marginesie rozważań, że w górnictwie podziemnym węgla w USA i Australii wozy oponowe odstawcze typu „shuttle car” bardzo często kursują pomiędzy szybko przemieszczającym się przodkiem a stacjonarnym środkiem odstawy.

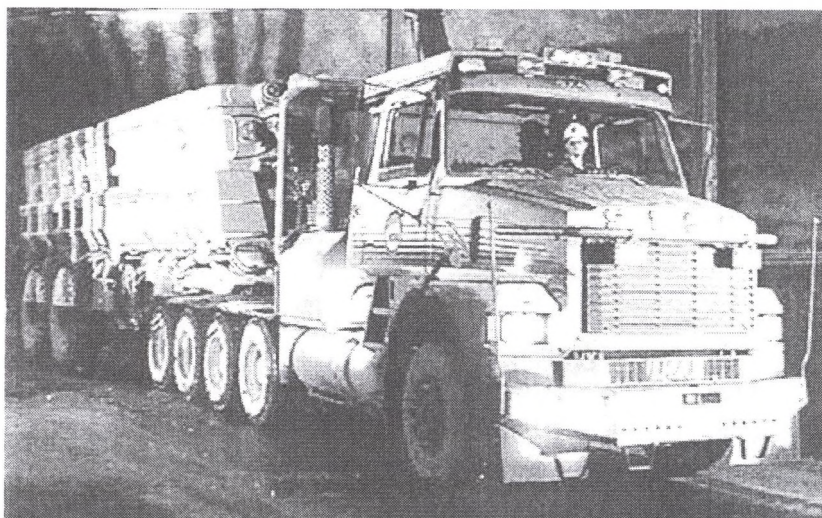
W ostatnich latach zanotowano istotny postęp przede wszystkim w sterowaniu oponowymi środkami odstawy urobku. Stosunkowo nowe rozwiązania w tym względzie zostały wdrożone, dając bardzo obiecujące wyniki.

Celem niniejszej pracy jest zaprezentowanie aktualnych trendów rozwoju rozważanych bądź już stosowanych w systemach odstawy oponowej górnictwa podziemnego.

## 2. Motywacja i podstawy teoretyczne

Rozwój techniki oponowych wozów odstawczych górnictwa podziemnego poszedł w kierunku ustawicznego doskonalenia konstrukcji maszyn, a przede wszystkim w kierunku podniesienia efektywności sterowania tymi maszynami.

Jeżeli chodzi o parametry stosowanych maszyn, to te nie uległy istotnej zmianie. Jedynym wyjątkiem są te środki, które są stosowane jako główne jednostki do odstawy urobku na powierzchnię. Jednostki typu Sisu Mamut Truck (fot. 1), stosowane np. w kopalni rudy żelaza Malmberget [4] w Szwecji, mają udźwig użyteczny 120 ton (<http://www.mining-technology.com/projects/malmberget>). Wymagają one wyrobisk transportowych o dużym przekroju poprzecznym, ciągnących się kilka kilometrów w głąb kopalni.



Fot. 1. Sisu Mamut Truck  
 Phot. 1. Sisu Mamut Truck

Jak na razie nie przewiduje się dalszego zwiększania wielkości udźwigu tego typu jednostek transportowych.

Istotny postęp zanotowano w konstrukcji baterii akumulatorowych, podnosząc w sposób znaczący ich żywotność. Ma to znaczenie dla tych kopalń, które nie mogą zastosować w swoich zakładach górniczych ani zasilania elektrycznego z drutów jezdnych, ani silników dieslowskich. Ma to także znaczenie dla takich maszyn, dla których zasilanie z baterii akumulatorowych jest alternatywnym sposobem zasilania – maszyna jest już wyposażona w jeden sposób zasilania i w celu podniesienia jej możliwości transportowych wyposaża się dodatkowo w system baterii akumulatorowych, tak jak to ma miejsce w wozach typu Kiruna Electric Truck. Parametrem docelowym jest taka pojemność baterii, aby maszyna mogła wykonywać swoje funkcje przez całą zmianę produkcyjną bez konieczności wymiany baterii w międzyczasie.

Największy postęp odnotowany został w automatycznym sterowaniu wozami oponowymi i to zarówno maszyn typu LHD, jak i wozów skrzyniowych odstawczych.

Główne cele zastosowania automatycznego sterowania tego typu maszynami to:

- wycofanie w znacznej mierze ludzi z rejonów bezpośredniej eksploatacji górniczej dla podniesienia bezpieczeństwa pracy górników; poza tym operator maszyny po kilku godzinach pracy jest zmęczony i częściej zdarza mu się podejmować decyzje nie w pełni trafne,



- podniesienie efektywności eksploatacji maszyn; sterowanie odbywa się w dyspozytorni zlokalizowanej na powierzchni, dyspozytor w komfortowych warunkach – w porównaniu do warunków dołowych – steruje pracą maszyn, mając do dyspozycji bogatą informację o systemie i o przebiegu procesu jego eksploatacji; sztygar na dole kopalni nie dysponuje takimi wiadomościami, a podejmowane decyzje opierają się często na wrywkowych informacjach, doświadczeniu i intuicji.

Znaczenie i wpływ posiadanej informacji o aktualnej sytuacji w kopalni na wzrost wydajności został przedstawiony ostatnio między innymi w referatach Penswicka i Gillilanda [6] oraz Pukkila i Särkkä [8].

W związku z rozwojem techniki automatycznego sterowania systemami takich maszyn zaczęto rozważać zagadnienie, które wcześniej nie było możliwe do rozważenia – problem optymalnego sterowania tego typu systemami [10].

Elementy, które są podstawą dla zastosowania automatycznego sterowania (patrz np. Pukkila [8], Scoble i Daneshmend [12]), to:

1. Sieć informatyczna pozwalająca na dwustronną komunikację wszystkich elementów systemu w dowolnej chwili dla bieżącej kontroli i sterowania maszynami.
2. System informatyczny pozwalający na bieżące zbieranie informacji o stanie maszyn i wykonywanych przez nie funkcjach oraz o osiągnięciach systemu; skomputeryzowana baza danych dostępna dla planowania górniczego, system utrzymania maszyn w ruchu.
3. System maszyn, w którym każda maszyna jest wyposażona w sensory przekazujące na bieżąco informacje o stanie maszyny, wykonywanych funkcjach i dokładnej lokalizacji maszyny.
4. Jednostka pozwalająca na bieżące podejmowanie trafnych decyzji.

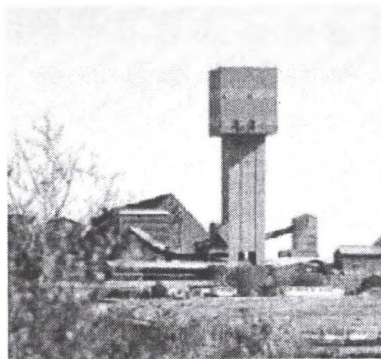
Istnieją pewne podobieństwa w sterowaniu między systemami: koparki-wywrotki kopalń stożkowych a systemami: maszyny LHD – wozy ładująco-odstawcze górnictwa podziemnego, w związku z czym wskazuje się, że pewne istniejące już rozwiązania można przenieść dla poprawy sterowania systemami kopalń podziemnych. W dyskusjach panelowych na konferencjach dotyczących maszyn górniczych sugeruje się, że należy rozwinąć zastosowanie techniki symulacyjno-animacyjnej do badania cyklicznych systemów maszynowych górnictwa podziemnego. Techniki takie są szeroko stosowane w praktyce kopalń stożkowych.

Badania nad zagadnieniem automatycznego sterowania eksploatacją podziemnych systemów urządzeń górniczych w ostatnim czasie nasiliły się, czego dowodem są prace: Scheding i in. [11], Roberts i in. [9], Steele i in. [13], Hwang i in. [5] czy Banty i in. [1].

Część z badaczy sugeruje, że rozwój automatycznego sterowania systemami maszynowymi, o których mowa w niniejszej pracy, zmierza do tzw. telerobotyki, w której sterowanie odbywa się bez udziału dyspozytora [7]. Całość sterowania realizowana jest komputerowo według określonego programu, jednakże z wykorzystaniem stałego dostępu do bieżących informacji o systemie. Rola dyspozytora ogranicza się do wyrывkowej kontroli realizowanego procesu sterowania. Część badaczy uważa, że na dynamicznie zmienne warunki eksploatacji górniczej i występujące tu zjawiska o charakterze stochastycznym powodują, iż najkorzystniejszym rozwiązaniem będzie sterowanie przez dyspozytora przy wspomaganii komputerowym w oparciu o bieżące dane z wykorzystaniem magazynowanych stale informacji.

### 3. Przykład zastosowania automatycznego sterowania odstawą oponową w kopalni diamentów

Pierwszą kopalnią głębinową na świecie, która zdecydowała się na zastosowanie w pełni automatycznego sterowania odstawą urobku z przodków eksploatacyjnych przewozem oponowym do kruszarki, jest południowoafrykańska kopalnia diamentów Finsch (fot. 2).



Fot. 2. Główna wieża szybowa kopalni Finsch [2]  
Phot. 2. Main shaft of Finsch Mine [2]

W kopalni tej wydobycie rozpoczęto z końcem lat sześćdziesiątych i była to eksploatacja powierzchniowa w wyrobisku typu stożkowego. W latach dziewięćdziesiątych rozpoczęto prace, by uruchomić eksploatację podziemną. Wiadomo, że skały zawierające diamenty są bardzo starymi utworami geologicznymi, więc urabianie tych skał jest możliwe – obecnie stosowaną techniką – tylko metodą strzelniczą. Z początkiem roku 2000 rozpoczęto prace nad możliwością wprowadzenia automatycznego, bezzałogowego sterowania systemem odstawy z przodków eksploatacyjnych. Zdecydowano się na współpracę z firmą Sandvik

i wprowadzenie systemu AutoMine, który został wstępnie uruchomiony z końcem roku 2005 [2, 3]. Dwa lata później pełna automatyzacja została zakończona (fot. 3) i system odstawy jest w eksploatacji, dając zaskakująco dobre wyniki.



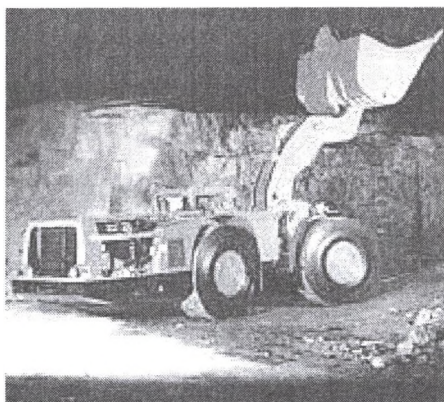
Fot. 3. Centrum dyspozytorskie na powierzchni: wszystkie operacje pod ziemią i w zakładzie przeróbki są kontrolowane i sterowane przez to Centrum [2]

Phot. 3. Dispatching centre on the surface [2]

Sam system jest nieduży. Składa się z jednej maszyny typu LHD Sandvik 007 (fot. 4) i sześciu wozów odstawczych Toro T50 (fot. 5) o masie użytecznej 50 ton.

W trakcie badań systemu stwierdzono, że średnia masa urobku w łyżce w warunkach dołowych wynosi 8,4 t. Cztery łyżki są stosowane dla załadunku wozu odstawczego. Zauważono także, iż korzystniejszym rozwiązaniem jest niedoładowanie wozu aniżeli przeładowanie bądź *ładowanie do maksimum*. Strata czasu na usuwanie skutków ewentualnego rozsypania urobku w podziemnym wyrobisku jest znaczna, powodująca wyraźną redukcję wydajności. Na trasie przejazdu maszyn nie ma górników. Jeżeli zdarzyłoby się, że ktoś dostałby się na pętlę transportową maszyn, czujniki automatycznie wyłączą system. Obecnie takie zdarzenia się nie pojawiają. Prowadzenie maszyn jest sterowane laserowo z zaangażowaniem technologii żyroprowadzenia.

Osobnym zagadnieniem jest redukcja zapylenia. Stwierdzono, że zarówno lasery, jak i kamery źle pracują w atmosferze pylistej. A każda maszyna ma na wyposażeniu dwie kamery.



Fot. 4. Sandvik LHD  
Phot. 4. Sandvik LHD



Fot. 5. Toro T50  
Phot. 5. Toro T50

Kopalni udało się zredukować zapylenie i w praktyce wystarcza, gdy kamery są czyszczone każdorazowo pomiędzy zmianami.

Produkcja kopaliny wzrosła z 6000 t/d w 2005 roku do 16000 t/d na koniec roku 2007. Jednym z głównych czynników, które wpłynęły na wzrost wydajności, jest wzrost szybkości przemieszczania się maszyn. Zgodnie z prawem górniczym Południowej Afryki, maszyny tego typu mogą się poruszać z prędkością maksymalną 16 km/h w przypadku operatora będącego w maszynie. Toro bez operatora poruszają się z prędkością dochodzącą do 35 km/h.

Badania eksploatacyjne i teoretyczne trwają nadal. Kopalnia ma nadzieję, że uda jej się w najbliższych latach – po wprowadzeniu zasad optymalizacji sterowania systemem – podnieść wydajność do 20000 t/d.



## BIBLIOGRAFIA

1. Banta L. E., Nutter R. S., Xia Y.: Mode-based navigation for autonomous mine vehicles. *IEEE Transaction on Industry Applications*. Vol. 21, 1, Jan/Feb. 1992, s. 181-185.
2. DBCMar2005\_Finsch[1].pdf.
3. Fiscor S.: Finsch automates diamond mining. *Engineering & Mining Journal*. January/February 2008, s. 36-43.
4. <http://www.mining-technology.com/projects/malmberget>.
5. Hwang Y. S., Farmer N., Hart J.: Mining automation in the next millennium: Engineering in tele-operated load haul dump model. 2<sup>nd</sup> International Conference on Intelligent Processing and Manufacturing of Materials. 10-15 July 1999, vol. 2, s. 879-885.
6. Penswick D., Gilliland K.: The e-mine. *Proceedings of MassMin 2000*. Brisbane, Queensland, 29 Oct – 2 Nov. 2000, s. 839-842.
7. Pukkila J., Särkkä P.: Intelligent mine technology program and its implementation. *Proceedings of MassMin 2000*. Brisbane, Queensland, 29 Oct – 2 Nov. 2000, s. 135-143.
8. Pukkila J., Särkkä P.: Intelligent mine technology program and its implementation. *Proceedings of MassMin 2000*. Brisbane, Queensland, 29 Oct – 2 Nov. 2000, s. 135-143.
9. Roberts J. M., Duff E. S., Corke P. I.: Reactive navigation and opportunistic localization for autonomous underground mining vehicles. *Information Sciences* 145, 2002, s. 127-146.
10. Saayman P.: Optimization of an autonomous vehicle dispatch system in an underground mine. M.Sc. dissertation, University of Pretoria 2005.
11. Scheduling S., Dissanayake G., Nebot E. M., Durant-Whyte H.: An experiment in autonomous navigation of an underground mining vehicle. *IEEE Transaction in Robotics and Automation*, vol. 15, 1, Feb 1999, s. 85-95.
12. Scoble M. i Daneshmend L.: Mine of the year 2020: Technology and Human resources. *The Australian Coal Review*. April 1999.
13. Steele J., Ganesh C., Kleve A.: Control and scale model simulation of sensor-guided LHD mining machines. *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 29, 6, Nov/Dec. 1993, s. 1232-1238.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Walery Szuścik